

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**SW pro nácvik a prohlubování prostorového vidění**

**SW for Training and Improving of Spatial Vision**

**2016**

**Martin Schmidt**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Schmidt**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik  
Téma: SW pro nácvik a prohlubování prostorového vidění  
SW for Training and Improving of Spatial Vision  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Rešerše současného stavu řešené problematiky se zaměřením na přehled v současnosti na trhu dostupných metod pro nácvik a prohlubování stereopse (prostorového vidění).
2. Studium literatury zabývající se problematikou stereopse s rozбором metod její diagnostiky a možností terapie.
3. Teoretický návrh SW aplikace pro nácvik a prohlubování stereopse a jejího hodnocení včetně popisu všech nutných specifikací, které by měla aplikace podle současných standardů a doporučení splňovat.
4. Návrh a realizace SW aplikace pro nácvik a prohlubování stereopse a jejího hodnocení.
5. Návrh a realizace elektronické databáze pacientů, která umožní uložení a statistické vyhodnocení výsledků jednotlivých vyšetření a cvičení v čase.
6. Návrh a realizace uživatelsky přívětivého grafického rozhraní (GUI) SW aplikace pro vyšetření / hodnocení stereopse včetně možnosti tisku a statistického hodnocení jednotlivých oftalmologických parametrů v čase.
7. Ověření funkčnosti a efektivitu finální verze softwaru pro vyšetření / hodnocení stereopse v praxi (minimálně 30 pacientů).
8. Zhodnocení dosažených výsledků.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HROMÁDKOVÁ, Lada. *Šilhání*. Vyd. 3., nezměn. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2011. 162 s. ISBN 978-80-7013-530-3.
- [2] DIVÍŠOVÁ, Gabriela. *Strabismus*. 2., upr. vyd. Praha: Avicenum, 1990. 306 s.
- [3] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 1.vyd. Praha: Grada, 2007, [40]. 768 s. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [4] OTRADOVEC, Jiří. *Klinická neurooftalmologie*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2003. 488 s., 16 s. barev. obr. příl. ISBN 80-247-0280-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Augustynek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016



doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

Rád bych zde poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Augustynkovi, Ph.D. a MUDr. Juraji Timkovičovi za jejich odbornou pomoc a čas věnovaný při vytváření bakalářské práce.

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 29. 4. 2016

.....*Leh*.....

## **Abstrakt**

Bakalářská práce SW pro nácvik a prohlubování prostorového vidění je rozdělena do 8 kapitol. Nejdříve se zabývá rešerší současného stavu problematiky nácviku stereopse. V další kapitole je uveden rozbor literatury související s daným tématem, který se soustředí na fyziologii a patologii binokulárního vidění, ortoptiku a stereoskopii. Ve 3. kapitole je rozebrán teoretický návrh aplikace i s vývojovým diagramem.

Další kapitoly se už zabývají realizací aplikace a lokální elektronické databáze pacientů. Výsledná aplikace je vytvořena pro tablety s operačním systémem Android, která pro nácvik stereopse využívá anaglyfy. V závěrečných kapitolách jsou uvedeny testy funkčnosti a efektivity aplikace v praxi a jejich výsledky.

## **Klíčová slova**

stereopse, prostorové vidění, binokulární vidění, anaglyf, Android, Java

## **Abstract**

Bachelor thesis SW for Training and Improving of Spatial Vision is divided into 8 chapters. The first chapter is research of the current state of the field. The next chapter focuses on the analysis of literature, mainly about physiology and pathology of binocular vision, orthoptics and stereoscopy. The third chapter concentrates on a theoretical proposal for the application.

The rest of the chapters explain the realization of the software application including a local electronic database of patients. The application is created for tablets running Android operating system. It uses anaglyph 3D images as the means for training stereopsis. The concluding chapters include tests of functionality and efficiency of the application in clinical practice and their results.

## **Keywords**

stereopsis, spatial vision, binocular vision, anaglyph, Android, Java

## Obsah

|   |    |
|---|----|
| Seznam použitých zkratk                             | 8  |
| Seznam ilustrací                                    | 9  |
| Seznam tabulek                                      | 11 |
| Úvod  | 12 |
| 1 Rešerše současného stavu problematiky             | 13 |
| 1.1 Rešerše publikované literatury                  | 13 |
| 1.2 Rešerše existujících aplikací                   | 26 |
| 1.2.1 Anaglyf                                       | 26 |
| 1.2.2 Autostereogram                                | 28 |
| 1.2.3 Virtuální realita                             | 29 |
| 1.3 Zhodnocení rešerše                              | 31 |
| 2 Teoretický rozbor prohlubování stereopse          | 33 |
| 2.1 Fyziologie binokulárního vidění                 | 33 |
| 2.1.1 Vývoj binokulárního vidění                    | 33 |
| 2.1.2 Normální retinální korespondence              | 34 |
| 2.1.3 Podmínky JBV                                  | 34 |
| 2.1.4 Formy JBV                                     | 34 |
| 2.1.5 Panumův prostor                               | 35 |
| 2.1.6 Horopter                                      | 35 |
| 2.1.7 Fyziologická diplopie                         | 35 |
| 2.2 Patologie binokulárního vidění                  | 35 |
| 2.2.1 Suprese                                       | 35 |
| 2.2.2 Amblyopie                                     | 36 |
| 2.2.3 Anomální retinální korespondence              | 37 |
| 2.2.4 Strabismus                                    | 37 |
| 2.2.5 Heteroforie                                   | 38 |
| 2.3 Ortoptika                                       | 38 |
| 2.3.1 Troposkop                                     | 38 |
| 2.3.2 Cheiroskop                                    | 39 |
| 2.3.3 Stereoskop                                    | 40 |
| 2.4 Stereoskopie                                    | 40 |
| 2.4.1 Anaglyf                                       | 40 |
| 3 Teoretický návrh SW aplikace pro nácvik stereopse | 42 |
| 3.1 Zařízení Lenovo Tab 2 A10-70                    | 42 |
| 3.2 Specifikace aplikace                            | 42 |
| 3.2.1 Uživatelské rozhraní                          | 42 |
| 3.2.2 Vývojový diagram aplikace                     | 44 |
| 3.2.3 Cvičení                                       | 44 |
| 4 Návrh a realizace SW aplikace                     | 45 |
| 4.1 Přihlášení                                      | 45 |
| 4.2 Registrace                                      | 45 |
| 4.3 Výběr barvy                                     | 46 |
| 4.4 Menu  | 47 |
| 4.5 Návod   | 47 |

|   |    |
|---|----|
| 4.6 Výběr obtížnosti .....                                  | 48 |
| 4.7 Galerie obrázků .....                                   | 49 |
| 4.8 Cvičení.....  | 49 |
| 4.8.1 Realizace cvičení.....                                | 49 |
| 4.9 Vyhodnocení správnosti odpovědi .....                   | 54 |
| 4.10 Závěrečná obrazovka cvičení .....                      | 55 |
| 5 Návrh a realizace elektronické databáze pacientů .....    | 56 |
| 5.1 Realizace databáze.....                                 | 56 |
| 5.2 Tabulka pacientů .....                                  | 57 |
| 5.3 Tabulky cvičení .....                                   | 57 |
| 5.4 Registrace.....   | 57 |
| 5.5 Přihlášení .....  | 57 |
| 5.6 Záznam cvičení .....                                    | 57 |
| 6 Návrh a realizace grafického uživatelského rozhraní ..... | 58 |
| 6.1 Tlačítka .....  | 58 |
| 6.2 Pozadí .....  | 58 |
| 6.3 Obrázky.....  | 59 |
| 6.4 Možnost tisku a statistického hodnocení .....           | 59 |
| 7 Ověření aplikace v klinické praxi .....                   | 61 |
| 7.1 Testování v klinické praxi .....                        | 62 |
| 7.1.1 Rozdělení pacientů .....                              | 63 |
| 7.2 Zhodnocení výsledků.....                                | 64 |
| Závěr.....  | 65 |
| Literatura.....   | 66 |

## **Seznam použitých zkratek**

ARK - anomální retinální korespondence

GUI - grafické uživatelské rozhraní

JBV - jednoduché binokulární vidění

NRK - normální retinální korespondence



## Seznam ilustrací

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1 Schéma Howard-Dolman testu [1] .....  | 15 |
| Obr. 2 Princip metody time-sharing [2].....  | 17 |
| Obr. 3 Zóny binokulárního vidění, horopter a Panumův prostor [2] .....             | 18 |
| Obr. 4 3D softwarová animace [3] .....   | 19 |
| Obr. 5 Titmus Stereo Test [4] .....  | 20 |
| Obr. 6 Random Dot Preschool Test [4] .....   | 21 |
| Obr. 7 Porovnání komfortního a nekomfortního anaglyfu [5] .....                    | 22 |
| Obr. 8 Synoptofor [17] .....   | 23 |
| Obr. 9 TNO stereotest [27] .....   | 24 |
| Obr. 10 Langův stereotest [26].....  | 25 |
| Obr. 11 Aplikace 3D Anaglyph.....  | 26 |
| Obr. 12 Aplikace Vergence trainer.....   | 27 |
| Obr. 13 Aplikace Stereo Blocks .....   | 28 |
| Obr. 14 Aplikace MyEyeGym .....  | 29 |
| Obr. 15 Porovnání různých brýlí pro virtuální realitu [25] .....                   | 30 |
| Obr. 16 Aplikace VR Eye Exercise .....   | 30 |
| Obr. 17 Stereo Acuity Test se zvýrazněným výsledkem v Random Dot Stereogramu ..... | 31 |
| Obr. 18 Cvičení na troposkopu .....  | 39 |
| Obr. 19 Cvičení na cheiroskopu .....   | 39 |
| Obr. 20 Tvorba anaglyfu [20] .....   | 41 |
| Obr. 21 Vývojový diagram .....   | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Obr. 22 Přihlášení.....                                     | 45 |
| Obr. 23 Registrace.....                                     | 46 |
| Obr. 24 Výběr barvy pozadí.....                             | 46 |
| Obr. 25 Hlavní menu .....                                   | 47 |
| Obr. 26 Návod.....  | 48 |
| Obr. 27 Výběr obtížnosti .....                              | 48 |
| Obr. 28 Galerie obrázků.....                                | 49 |
| Obr. 29 Ukázka cvičení, level 1 s šedým pozadím.....        | 50 |
| Obr. 30 Ukázka cvičení, level 2 s tmavě šedým pozadím ..... | 51 |
| Obr. 31 Ukázka cvičení, level 3 s černým pozadím .....      | 52 |
| Obr. 32 Vyhodnocení správné odpovědi .....                  | 54 |
| Obr. 33 Závěrečná obrazovka .....                           | 55 |
| Obr. 34 Schéma databáze.....                                | 56 |
| Obr. 35 Ikona aplikace.....                                 | 58 |
| Obr. 36 Tlačítko Přihlásit.....                             | 58 |
| Obr. 37 Logo aplikace .....                                 | 58 |
| Obr. 38 Obrázky z galerie.....                              | 59 |
| Obr. 39 Odesílání emailu s exportovaným souborem.....       | 60 |
| Obr. 40 Ukázka exportovaného souboru .....                  | 60 |
| Obr. 41 Foto testovaných pacientů.....                      | 62 |

## Seznam tabulek

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| Tabulka 1 Výsledky testování..... | 61 |
|-----------------------------------|----|

# Úvod

Zrak je mnohými popisován za nejdůležitější lidský smysl. Jeho důležitou součástí je i prostorové vidění. Bez něho se lidé mnohem hůře orientují v prostoru a mohou být v životě velmi omezeni, ať už při výběru povolání či v každodenním životě.

Na začátku bakalářské práce je vytvořena rešerše současného stavu problematiky nácviku prostorového vidění. Po rešerši je rozebrán mechanismus binokulárního vidění, jehož funkcí je právě prostorové vidění. Dále jsou uvedeny poruchy zabraňující stereopsi. V další kapitole jsou nastíněny základy ortoptiky, oboru zabývajícího se obnovou správné spolupráce obou očí. Nakonec se v teoretické části práce objevují základní techniky stereoskopie, tedy vytvoření 3D obrázků.

SW aplikace vytvořená v rámci bakalářské práce je určená pro tablety s operačním systémem Android. Potřeba pro tuto aplikaci vychází z klinické praxe se záměrem modernizovat ortoptická cvičení pro nácvik stereopse. Účelem této aplikace je také zvýšení zájmu dětských pacientů o cvičení.

Bakalářská práce obsahuje teoretický návrh i realizaci této aplikace. Dále je zde navržena a realizována lokální elektronická databáze pacientů. V závěru jsou uvedeny výsledky testování aplikace v praxi.

# **1 Rešerše současného stavu problematiky**

Prostorové vidění neboli stereopse patří k základním vyšetřovaným aspektům binokulárního vidění. Pro vyšetření se dříve používaly testy s předměty v 3D prostoru, ty však potřebovaly hodně místa ke správnému provedení, proto se postupně přešlo k příhodnějším 2D papírovým testům a později k softwarovým aplikacím.

Cílem bakalářské práce je vytvoření softwarové aplikace pro tablety, která umožní jednoduchý nácvik stereopse v ambulancích oftalmologů. Předpokládaným výstupem rešerše by mělo být zjištění a ozřejmění nejlepších způsobů nácviku stereopse.

## **1.1 Rešerše publikované literatury**

Rešerše byla provedena přes zdroje Ústřední knihovny Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava a následně přes zdroje databáze EBSCO, Science Direct a Web of Science.

V dalším textu jsou uvedeny výsledky provedené rešerše. K relevantním publikacím je uveden krátký komentář. Rešerše publikované literatury je soustředěna na nynější způsoby testování a nácviku stereopse, studie porovnávající standardní metody a testy s nově vyvíjenými softwarovými aplikacemi a souhrn přístrojů užívaných při nácviku stereopse.

## Clinical evaluation of stereopsis

[1] WESTHEIMER, Gerald. Clinical evaluation of stereopsis. *Vision Research* [online]. 2013, (vol. 90): 38-42 [cit. 2015-07-01]. DOI: 10.1016/j.visres.2012.10.005. ISSN 00426989.

Práce se zabývá klinickým testováním stereopse. Geometrie stereopse je zde zjednodušeně vysvětlena pomocí bodu, nacházejícího se v sagitální<sup>1</sup> rovině, ve vzdálenosti  $z$  od pacienta, jehož vzdálenost mezi oběma očima je  $a$ . Když je  $z$  větší než  $a$ , lze souřadnici sledovaného bodu definovat pomocí  $\gamma$ , binokulární paralaxy. Platí, že

$$\gamma = \frac{a}{z} \quad (1.1.1)$$

Měřením rozdílů  $\gamma$  při pozorování dvou různých objektů v prostoru lze zjistit jejich vzájemná anterioposteriorní<sup>2</sup> poloha. Rozdíl v binokulární paralaxe dvou objektů se nazývá disparita. Když je  $\Delta z$  malé, platí, že

$$\Delta\gamma = \left(\frac{a}{z^2}\right) \Delta z \quad (1.1.2)$$

Disparita podle rovnice vždy závisí na pacientově interokulární vzdálenosti, na vzdálenosti objektu od pacienta a rozdílu vzdálenosti objektů. Když jsou všechny veličiny ve stejných jednotkách, např. centimetrech, vychází disparita v radiánech.

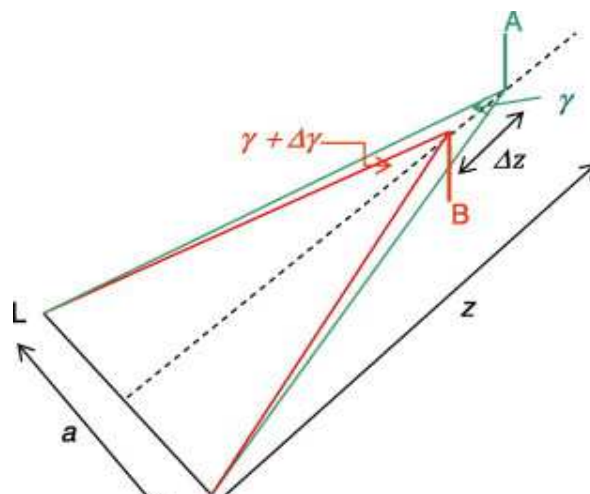
V práci je kladen důraz na odlišení stereopse a ostatních možností, jak rozpoznat prostorové dispozice. Je možné velmi dobře navigovat v prostoru pouze za použití monokulárních podnětů. Pro klinické testy stereopse je tedy potřeba pacientovi zamezit možnost rozpoznání prostorových vjemů pomocí jednoho oka a soustředit se pouze na detekci binokulární disparity.

Jedním z prvních testů stereopse je test vytvořený oftalmology Howardem a Dolmanem. Pacient se při něm dívá na nepohyblivou tyč ve vzdálenosti 6 m před jednobarevným pozadím. Má k dispozici další stejně velkou tyč, s kterou může pohybovat v jedné ose. Jeho úkolem je pohyblivou tyč umístit co nejblíže před druhou tyč, kde ještě rozpozná vzájemnou pozici obou tyčí. Schéma testu je zobrazeno na obr. 1.

---

<sup>1</sup> Šípková rovina, dělí tělo na levou a pravou polovinu.

<sup>2</sup> Před-zadní (anterior = přední; posterior = zadní).



**Obr. 1** Schéma Howard-Dolman testu [1]

Pro nedostatek prostoru pro přesné vyhodnocování stereopse s použitím 3D objektů se přešlo na testy používající stereogramy. Místo fyzických objektů se pacientovi prezentují obrázky, které vyvolávají prostorové vjemy. Každému oku se ukáže mírně odlišný obraz, což simuluje interokulární vzdálenost při pohledu do prostoru. Předozadní prostorové rozdíly se tedy pacientovi prezentují jako pravolevé poziční rozdíly na stereografických párech.

Stereogramy jsou tvořeny dvěma oddělenými obrazy, což vyžaduje přesné umístění hlavy a očí. Pro tyto důvody jsou jednodušší stereogramy s obrazy překrytými přes sebe. Toho využívají např. červeno-modré obrazy, tzv. anaglyfy. Do budoucna se jako nejslibnější technologie předpokládá time-sharing, využívající rychlé obnovovací frekvence počítačových monitorů a polarizačních panelů.

Dále se v článku rozebírají hlavní parametry, které musí testy stereopse splňovat, pro optimální měření míry stereopse. Pozorované obrazy musí být:

- dobře rozlišitelné
- nepočetné
- vysoce kontrastní
- dobře osvětlené
- ukázané alespoň na zlomek sekundy

Výsledná hodnota měřené disparity se v ideálních podmínkách u zkušeného pozorovatele může dostat až na hodnotu 2 úhlových vteřin, což odpovídá  $0.00056^\circ$ . Této hodnoty však není nutné dosáhnout. Při prvním testu by však každý pacient se stereopsí měl dosáhnout výsledku přinejmenším 1 úhlové minuty, tedy  $0.0167^\circ$ .

Článek poukazuje na správné parametry, které by měly splňovat stereoskopické obrázky pro přesné měření míry stereopse. Dále z něj vyplývá způsob, jakým se hodnotí míra stereopse při vyšetření a hranice, kterých by pacient při vyšetření měl dosáhnout. Při vyšetřování je nutné použít obrázky s různými hodnotami disparity pro přesné určení míry stereopse pacienta. Standardně se postupuje od obrázků s vysokou hodnotou disparity k obrázkům s nižšími hodnotami. Když pacient není schopen vyvolat prostorový vjem u stereoskopického obrázku, určí se míra stereopse jako hodnota disparity předchozího obrázku, který byl pacient ještě schopen správně stereoskopicky zobrazit.

## Three-dimensional displays and stereo vision

[2] WESTHEIMER, G. Three-dimensional displays and stereo vision. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [online]. 2011, **278**(1716): 2241-2248 [cit. 2015-07-01]. DOI: 10.1098/rspb.2010.2777. ISSN 0962-8452.

Tento článek shrnuje základy stereopse a vysvětluje funkce a vlastnosti stereoskopických displejů. V úvodu se rozebírá kvalita přenesení prostorových informací na běžné displeje nebo papír. Při pozorování těchto médií nelze pomocí stereopse rozpoznat hloubku prostoru. Jsou však uvedeny monokulární podněty, které často plynou ze zkušeností pozorovatele. Když pozorovatel rozezná zobrazený předmět, zná jeho přibližnou velikost a může odhadnout, jak daleko předmět je. Při takovém odhadu u více zobrazených předmětů je schopen porovnat relativní pozice předmětů v prostoru.

S nástupem moderních technologií se konstrukce displejů snaží využívat lidské vlastnosti stereopse a doručit každému oku mírně odlišný obraz. Základní metodologií 3D displejů je tedy schopnost doručit každému oku jen zrakový vjem, který je mu určen. Nejprímější, ale technicky nejnáročnější metodou, je použití brýlí opatřených dvěma miniaturními displeji. Tato metoda může způsobit např. problémy s koordinací, protože uživatel reaguje pouze na to, co vidí na displeji a nevidí okolní prostředí.

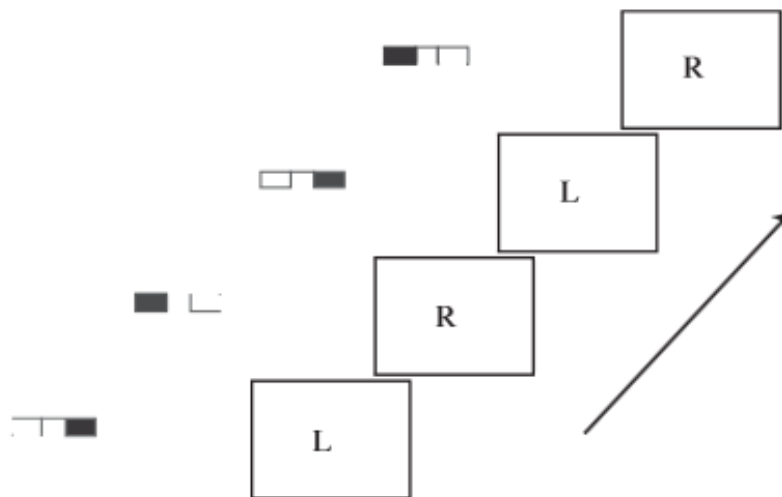
Široce rozšířenou metodou je použití dvou projektorů vybavených ortogonálně polarizujícími filtry. Projektory míří na hliníkovou obrazovku, jež zachovává polarizaci. Na tuto obrazovku se dívá uživatel s brýlemi, které také obsahují ortogonálně polarizující filtry a tím umožňují každému oku vidět pouze obraz z projektoru jemu určenému. Výhodou polarizujících brýlí je relativně nízká cena.

Další alternativní metodou 3D displejů jsou anaglyfy. Obraz určený pro jedno oko se pozoruje přes modrý filtr a obraz pro druhé oko přes filtr červený. To umožní nepřekrývající se vlnové délky obrazů obou očí. Každé oko pak vidí jiný obraz. Tato technika však narušuje chromatické vlastnosti obrazů.

V nynější době se jako nejslibnější pro budoucí použití ukazuje technika zvaná time-sharing. Uživatel pozoruje displej, na kterém se s vysokou frekvencí střídají 2 typy obrazů, první půlperioda signálu zobrazí obraz pro levé oko a druhá pak pro pravé, viz obr. 2. Frekvence tohoto střídání obrazů by měla být alespoň 120 Hz. Existují 2 metody, které zaručí, že každé oko vidí pouze obraz, který má. První metoda používá brýle, které mají zabudovaný systém binokulárně alternujícího zakrytí, brýle tedy v určitých časových úsecích, se stejnou frekvencí jako displej, zakrývají jedno oko. Druhou možností u time-sharingu je použití synchronně polarizujících filtrů u obrazovky, tedy obraz pro každé oko bude jinak polarizovaný.



K tomu stačí použít jednoduché brýle s pasivním polarizujícím filtrem. Výhodou metody time-sharing je využití plného rozlišení displeje s plným barevným spektrem pro obrazy obou očí. Toto umožňuje lepší výkon pro stereopsi. Při použití vysokých obnovovacích frekvencí displeje se odstraňuje jediná možná nevýhoda, což je viditelný přechod mezi jednotlivými obrazy.



**Obr. 2** Princip metody time-sharing [2]

Všechny zmíněné metody pro funkci 3D displejů fungují na principu umělého vytvoření prostorového vjemu na rovině obrazovky. Při běžném pozorování prostoru však oči společně se stereopsí používají vlastnost konvergence čoček, a tím zaostření na různé vzdálenosti od očí. Při pozorování 3D displejů je tato vlastnost potlačena a oči jsou soustředěny stále na stejnou vzdálenost. Při delším pozorování 3D displejů může absence tohoto jevu způsobit astenopii<sup>3</sup>.

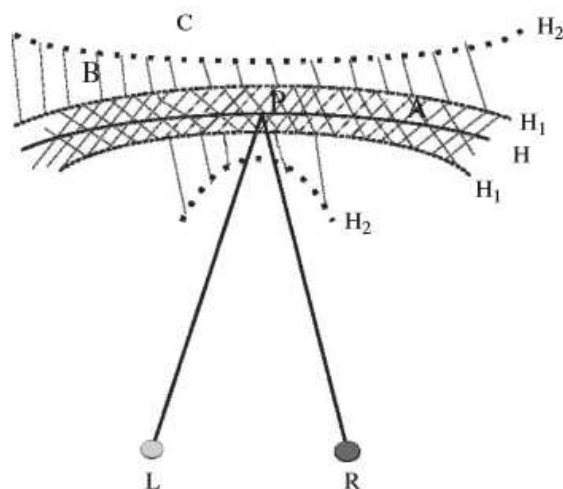
Přenášení prostorových informací do obrazu pomocí zmíněných metod musí také respektovat poměr vytvořené vzdálenosti se skutečnou. Článek shrnuje von Rohrovo rozdělení obrazů, kdy vytvořený obraz udává stejné prostorové informace jako reálný objekt (tautomorfický), nebo obraz zachovává relativní prostorové informace (homeomorfický), nebo ukazuje jinou hloubku prostoru (heteromorfický). Pro přesné zachování prostorových informací je nutné např. při focení objektu z 250 cm s fotoaparáty vzdálenými od sebe 25 cm, aby po vytvoření tento 3D obraz byl sledován při interokulární vzdálenosti 6.25 cm ze vzdálenosti 62.5 cm.

Konvergence čoček a namíření očí na předmět v určité vzdálenosti aktivuje stereopsi. Ta však funguje jen na předměty v podobné vzdálenosti jako zamířený předmět. Viditelný prostor se stejnou vzdáleností jako zamířené místo se nazývá horopter. Prostor, který má mírně odlišnou vzdálenost od očí, ale

---

<sup>3</sup> Rychlá únava zraku, projevující se bolestmi očí a hlavy.

předměty v něm nejsou zobrazeny dvojité, se nazývá Panumův prostor, viz obr. 3. Objekty nenacházející se v Panumově prostoru jsou často viděny dvojité, objevuje se fyziologická diplopie.



**Obr. 3** Zóny binokulárního vidění, horopter a Panumův prostor [2]

## Real Stereopsis Test Using a Three-Dimensional Display with Tridef Software

[3] HAN, Jinu, So Young HAN, Seung Koo LEE, Jong Bok LEE a Sueng-Han HAN. Real Stereopsis Test Using a Three-Dimensional Display with Tridef Software. *Yonsei Medical Journal* [online]. 2014, **55**(6) [cit. 2015-07-01]. DOI: 10.3349/ymj.2014.55.6.1672. ISSN 0513-5796.

Studie porovnávala přesnost měření míry stereopse za pomoci konvenčních testů stereopse s testy pomocí 3D animací a filmů. Byly použity dvouminutové animace s horizontální disparitou od 0 mm do 15 mm, které byly pacientům použity na 15-palcovém LCD displeji ze vzdálenosti 66 cm. Ukázka z použité animace je na obr. 4. Výsledky těchto testů byly porovnány s pacientovými výsledky u klasického Titmus Fly stereotestu. Studie se účastnilo 133 pacientů, mezi kterými byli jak lidé bez poruch jednoduchého binokulárního vidění, tak lidé se strabismem a amblyopií.

V dnešní době se hojně využívá 3D technologie ve filmech. Oproti klasickým testům stereopse je u dynamického obrazu obtížnější aktivovat stereopsi. Z toho důvodu je vhodné ve 3D animacích využívat obrazů s větší disparitou. Ve 3D filmech je možné získat prostorové informace také z jiných zdrojů než rozdílu disparit, hlavně díky pohybové paralaxe, vzájemném pohybu předmětů.

Mezi zúčastněnými ve studii byli takoví, co i přes dobrou míru stereopse, zjištěnou pomocí Titmus testu, nebyli schopni stereopsi aktivovat při sledování 3D filmů. Zároveň se ve studii objevili i lidé, kteří podle Titmus testu stereopsi neměli, ale stále byli schopni sledovat 3D filmy. Tato diskrepance je ve studii vysvětlena tím, že v klasických testech stereopse pacient vybírá jeden stereoskopický obrázek z několika, který je odlišný od ostatních, kdežto v 3D animacích jsou všechny obrázky vykresleny s jistou disparitou. V klasických testech navíc existují monokulární nápovědy, pomocí kterých je pacient schopen

poznat stereoskopický obraz. I v globálních testech stereopse, jako je Random Dot test, který by měl monokulárním návodům zabránit, lze najít správnou odpověď pomocí korelace centrálních bodů obrazu.



**Obr. 4** 3D softwarová animace [3]

Ve výsledcích studie se ukázalo, že pro 3D animace je nutné použití vyšších disparit, aby bylo možné aktivovat stereopsi. Příliš vysoké hodnoty disparit se však ukázaly jako negativně působící na zrakový orgán, působící astenopii. Studie potvrdila, že pacienti s konvergentním strabismem potřebují vyšší disparity obrázků, než pacienti s divergentním strabismem, amblyopií, nebo pacienti bez poruch jednoduchého binokulárního vidění. Někteří pacienti diagnostikováni se stereoslepotou pomocí klasických testů stereopse byli schopni sledovat 3D filmy s vysokou disparitou. Většina výsledků obou testů spolu u pacientů koreluje, s tím, že u 3D animací každý pacient dokázal rozpoznat prostorové vjemy s asi šestkrát větší disparitou oproti Titmus testu.

Výhodou 3D animací je zaujetí pacienta (nejčastěji dítěte) obsahem animace a vytvořením příjemnějšího prostředí pro testování. 3D animace se ukazují jako možná alternativa ke klasickým testům stereopse a je příhodné jejich využití při nácviku stereopse.

## Comparison of Stereopsis with TNO and Titmus Tests in Symptomatic and Asymptomatic University Students

[4] MOMENI-MOGHADAM, Hamed, James KUNDART, Marzieh EHSANI a Khatereh GHOLAMI. Comparison of Stereopsis with TNO and Titmus Tests in Symptomatic and Asymptomatic University Students. *Journal of Behavioral Optometry* [online]. 2011, (23(2): 35-39 [cit. 2015-07-01].

Studie porovnává míry stereopse skupiny studentů projevujících symptomy poruch binokulárního vidění se skupinou studentů bez symptomů. Cílem studie bylo zjistit, zda pomocí testu stereopse lze odhalit poruchy binokulárního vidění.

Byl použit Titmus Fly test pro zjištění lokální stereopse, což je typ stereopse, který k vytvoření hloubkového vjemu používá monokulárně rozpoznatelné kontury, viz obr. 5. Pro určení globální stereopse, která využívá objektů viditelných pouze binokulárně, se ve studii použil TNO stereo test.



**Obr. 5** Titmus Stereo Test [4]

Lokální stereopse se může u pacienta projevit i bez přítomnosti stereopse globální, naopak to však nelze. V případě lokální stereopse a absenci globální lze u pacienta pozorovat poruchy fúze, strabismus a špatnou detekci pohybu.

Studie odhalila, že práh disparity pro test globální stereopse je vyšší než pro lokální stereopsi. Pacienti se symptomy poruchy binokulárního vidění nebyli schopni dosáhnout hodnocení menšího než 90 úhlových vteřin u globálního testu a menšího než 45 úhlových vteřin u testu lokálního. Pokud pacient tedy není schopen rozpoznat hloubkový vjem s disparitou o těchto hodnotách, lze pravděpodobně usoudit, že se jedná o symptomy poruchy binokulárního vidění.

Výsledkem studie tedy je možnost rozpoznání poruch jednoduchého binokulárního vidění za pomoci testů stereopse. Problém však nastává v nevhodnosti většiny široce rozšířených testů stereopse, protože většina běžných testů neobsahuje obrázky s tak malou disparitou, aby bylo možné u pacienta změřit 90 úhlových vteřin u globální stereopse. Jediným vcelku rozšířeným stereo testem, který dosahuje tak malých hodnot u globální stereopse je Random Dot Preschool Stereoacuity Test, zobrazen na obr. 6. Přesných testů lokální stereopse je více, mezi ně patří verze Randot testu a Titmus testy.



**Obr. 6** Random Dot Preschool Test [4]

## **Predicting Visual Discomfort Using Object Size and Disparity Information in Stereoscopic Images**

[5] HOSIK SOHN, YONG JU JUNG, SEONG-IL LEE a YONG MAN RO. Predicting Visual Discomfort Using Object Size and Disparity Information in Stereoscopic Images. *IEEE Transactions on Broadcasting* [online]. 2013, **59**(1): 28-37 [cit. 2015-10-30]. DOI: 10.1109/TBC.2013.2238413. ISSN 0018-9316.

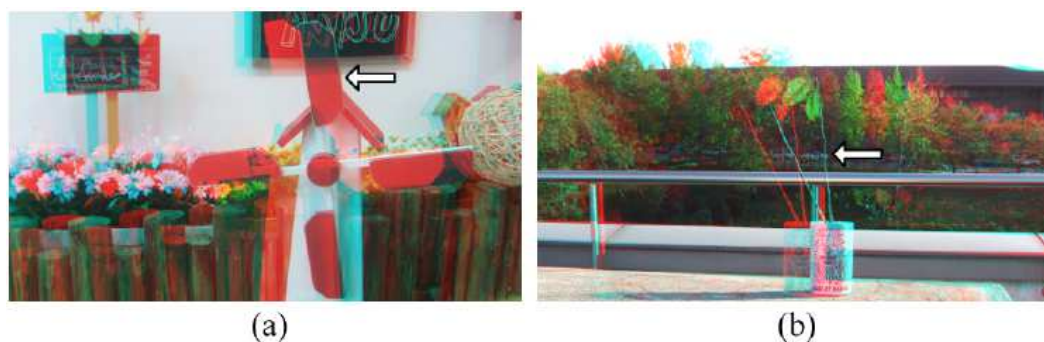
Účelem této studie bylo zjistit, které parametry 3D obrazu vyvolávají nepohodlí a únavu očí při jejich sledování. Z úvodu je zřejmé, že při zvyšujícím se zájmu o 3D obsah v posledních letech se také zvyšuje důraz na bezpečnost a optimální podmínky sledování ve 3D. Mnoho lidí při sledování 3D obrazu pociťuje symptomy, mezi které patří únava očí, bolest hlavy a nevolnost. Kvůli tomu je důležitý vývoj automatické predikce těchto symptomů při sledování 3D obsahu.

Při sledování 3D obrazu existuje několik faktorů, pomocí kterých lze určit, zda bude sledování obrazu pro pacienty nepříjemné. Mezi tyto faktory patří přílišná binokulární disparita obrazu, nepřírovnalý rozmazaný obraz a stereoskopické deformace. Velká binokulární disparita obrazu vede ke konfliktu mezi vergencí očních bulbů a akomodací čoček. Tento konflikt přináší větší stres na oči, protože čočky jsou

zvyklé při sledování předmětů v prostoru zaostřovat na různé vzdálenosti, zatímco při sledování uměle vytvořeného 3D obrazu jsou čočky soustředěny stále jen na jednu vzdálenost.

Při hodnocení kvality 3D obrazů a predikci možného nepohodlí při jejich sledování se konvenčně používají parametry disparity a prostorové frekvence. Pro hodnocení disparity se využívají čtyři statistické funkce: střední hodnota, odchylka, maximální hodnota a rozsah disparity. K hodnocení prostorové frekvence, která se projevuje jako rozmazání a zostření obrazu, se využívá maximální hodnota a rozsah.

Tato studie se při předvídání nepohodlí při sledování 3D obrazů soustředí na objekty zachycené na obrazu a jejich vzájemný vztah. K tomu cíli jsou ve studii zavedeny dva nové parametry 3D obrazů, které lze hodnotit navíc ke konvenčním parametrům 3D obrazu. Prvním parametrem je relativní disparita (střední hodnota rozdílu disparit mezi vzájemně blízkými objekty) a druhým nově zavedeným parametrem je tloušťka objektů (poměr střední hodnoty tloušťky ke střední hodnotě absolutní disparity objektu).



**Obr. 7** Porovnání komfortního a nekomfortního anaglyfu [5]

Na obr. 7 jsou zobrazeny 2 anaglyfy. Obraz nalevo se pacientům jeví jako bezproblémový, kdežto pravý obraz způsobuje při pozorování velkou zátěž na oči. Tyto dva anaglyfy mají stejnou hodnotu disparity, ale předmět zobrazený vpravo má příliš malou tloušťku.

Výsledky studie ukázaly, že kombinace relativní disparity a tloušťky objektů s konvenčně používanými parametry přispěla k výraznému zlepšení odhadu nepohodlí pacientů při sledování hodnocených 3D obrazů.

## **Vyšetřovací metody prostorového vidění**

[6] *Česká oční optika: Vyšetřovací metody prostorového vidění.* Společenstvo českých optiků a optometristů, 2013, **54**(1,2/2013). ISSN 1211–233X.

Tento článek z časopisu Česká oční optika se zabývá možnostmi vyšetření prostorového vidění v ortoptické ambulanci. Vyšetření stereopse v ordinaci je vždy rozděleno na dvě části, vyšetření stereopse na blízko a na dálku. Výsledky těchto dvou částí se mohou lišit, pokud má tedy pacient prostorové vidění na dálku, nemusí ho mít do blízka. Hodnocení stereopse se na různých pracovištích liší. Některá pracoviš-



tě hodnotí stereopsi jako prokázanou, částečně prokázanou nebo neprokázanou. Jiné ordinace zapisují hodnocení jako jemné, hrubé a neprokázané. Podmínkou stereopse je jednoduché binokulární vidění, součástí jehož je normální retinální korespondence, centrální fixace, vyrovnaná zraková ostrost, ortopostavení očí nebo nanejvýš malá úchylka šilhání kompenzovaná šířkou fúze. V oftalmologických ambulancích v České republice se k vyšetření využívá hlavně následujících testů.

### **Vyšetření pomocí synoptoforu**

Toto vyšetření patří v ČR k nejrozšířenějším. Synoptofor, nebo také troposkop, slouží ke zjištění prostorového vidění do dálky. Do ramen přístroje nastaveného na objektivní úhel pacienta se vkládají stereografické obrázky, u kterých pacient určuje zda jsou některé části dále nebo blíže k pacientovi. Přístroj je zobrazen na obr. 8.



**Obr. 8** Synoptofor [17]

### **Doteková zkouška pomocí dvou tužek**

Jednoduché vyšetření s použitím dvou tužek probíhá tak, že pacient se svojí tužkou snaží dotknout tužky, kterou drží ortoptista. První část testu probíhá binokulárně. U druhé části si pacient zakryje jedno oko a provádí test monokulárně. Srovnáním přesnosti pohybů v těchto částech lze zjistit přítomnost stereopse při binokulární části. V takovém případě by přesnost pacientových pohybů v první části měla být výrazně vyšší než ve druhé. Jedná se pouze o orientační vyšetření a nelze u něj jednoznačně prokázat nebo popřít pacientovo prostorové vidění.

### **Titmusův stereotest**

Titmusův test, založený na lineární polarizaci obrázků, slouží ke kvantitativnímu hodnocení pacientovi stereopse. Míru stereopse u pacienta lze měřit v rozmezí 3000 až 40 úhlových vteřin. Test se skládá ze 3 sekcí. První sekci tvoří pouze velký obrázek mouchy, který má disparitu 3000 úhlových vteřin a slouží k hrubému zjištění stereopse. Ve druhé sekci je 9 boxů se 4 kruhy v rozmezí 800 až 40 úhlových vteřin pro jemnější vyšetření stereopse. Poslední sekce se skládá ze 3 řad obrázků zvířat v rozmezí 400 až

100 úhlových vteřin. Při přítomnosti prostorového vidění chytá pacient na obrázky v prostoru před testem a je schopen určit, který obrázek vystupuje nejvíce k němu. Při nepřítomnosti stereopse se pacient při úchopu obrázků dotýká přímo obrázku na testu.

Pro správnou funkci testu je nutné dívat se na test ze 40 cm přes polarizační brýle. Dospělí pacienti musí mít svoji brýlovou korekci na blízko. Podmínkou pro použití Titmusova testu je vyrovnaná zraková ostrost bez amblyopie a pouze malá úchylna šilhání. Test není zcela přesný a může určit přítomnost stereopse i při její absenci, například u dětí s anomální retinální korespondencí. Titmusův stereotest lze najít na obr. 5.

### **TNO stereotest**

TNO test slouží k přesnému kvantitativnímu hodnocení stereopse. Využívá techniky anaglyfů zasazených do pole nepravidelně rozmístěných teček. Díky této technice nemá pacient žádné monokulární nápovědy a je schopný obrázek vidět pouze pomocí stereopse. Test umožňuje měření v rozsahu 480 až 15 úhlových vteřin. TNO stereotest bývá nejčastěji ve formě knihy, kde každá strana obsahuje pouze jeden obrázkový test. K těmto testům patří například obrázek motýla, kterého lze pozorovat monokulárně. Vedle tohoto motýla je zobrazen další motýl, který je viditelný pouze za pomoci stereopse.

Pomocí TNO testu lze u pacienta určit také dominantní oko nebo supresi jednoho oka. Test se klasicky pozoruje ze vzdálenosti 40 cm s použitím brýlové korekce na blízko a za pomoci červeno-zelených brýlí. TNO test je považován za velmi přesný, vyžaduje však spolupráci pacienta a nelze aplikovat u pacientů s poruchou barvocitu. Ukázka testu je uvedena na obr. 9.



**Obr. 9** TNO stereotest [27]



## Random Dot stereotest

Random Dot stereotest je dalším kvantitativním testem stereopse pro pacienty s malou úchylnou šilhání kompenzovanou šířkou fúze. Poskytuje rozsah měření od 900 do 50 úhlových vteřin. Stejně jako TNO test využívá techniku nepravidelně rozmístěných teček. Tento test však nevyužívá anaglyfy, ale polarizační brýle. Test obsahuje pouze 3 testovací karty, kde první je demonstrační a využívá se pro vysvětlení principu testu ve vzdálenosti 30 cm od pacienta. Další dvě karty již slouží k samotnému vyšetření. Na jedné z těchto karet je stereoskopicky viditelný znak E a na druhé kartě jsou tečky. Vyšetření pomocí tohoto testu se provádí v různých vzdálenostech. Obvykle se začíná na 50 cm od pacienta a postupuje se po 50 cm od něho až do 5 m. Při každé změně vzdálenosti pacient říká, zda se k němu znak E přibližuje nebo se od něj vzdaluje. Výsledek testu může být ovlivněn změnou pacientovy ostrosti vidění v různých vzdálenostech. Verze testu pro děti předškolního věku je uvedena na obr. 6.

## Langův test

Posledním široce rozšířeným testem je Langův test. Tento test má dvě verze a nejčastěji se používá u malých dětí. V testu je použita technika nepravidelně uspořádaných teček a princip cylindrického uspořádání, při kterém jsou rozděleny vjemy zvlášť pro obě oči. První verze testu umožňuje měření stereopse v rozsahu od 1200 do 550 úhlových vteřin a druhá verze od 600 do 200 vteřin. Oba testy obsahují 3 obrázky. Sledovací vzdálenost je klasicky 40 cm. Pacient má za úkol ukázat na obrázky a pojmenovat je. U nejmenších dětí není možné, aby obrázky pojmenovali, ale většinou není problém, aby na ně ukázali. Test je zobrazen na obr. 10.



Obr. 10 Langův stereotest [26]

## 1.2 Rešerše existujících aplikací

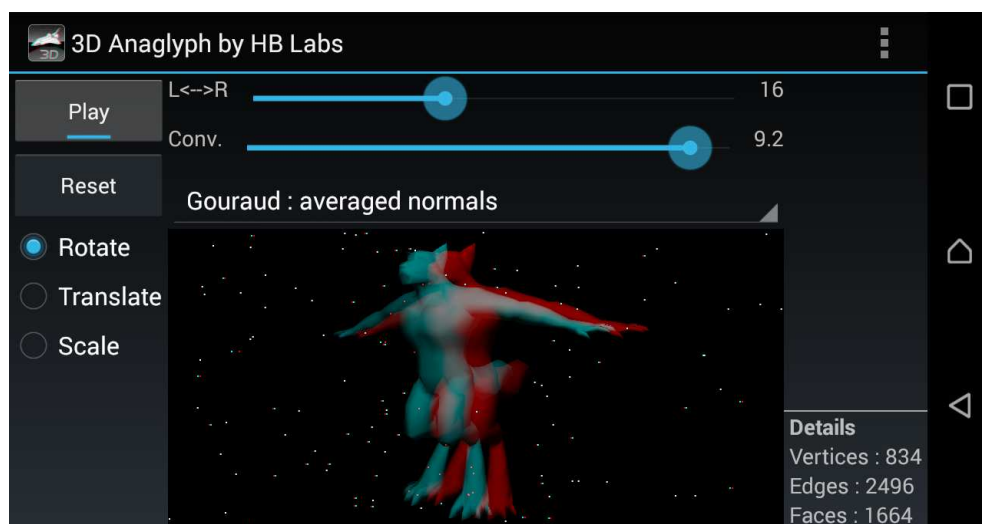
Rešerše byla provedena pro aplikace vyvíjené pro operační systém Android. Na mobilní zařízení s tímto systémem se využívají 3 metody pro vytvoření 3D obrazu. První metodou jsou anaglyfy s použitím červeno-modrých nebo červeno-zelených 3D brýlí, druhou pak jsou autostereogramy a třetí metodou brýle pro virtuální realitu, pro Android hlavně Google Cardboard.

### 1.2.1 Anaglyf

Metoda anaglyfů poskytuje pacientovi odlišné obrazy pro každé oko pomocí manipulace s barevným spektrem obrázků. Při použití nejčastěji červeno-azurových brýlí je důležité, aby oko s červeným filtrem nevidělo červenou část obrázku a oko s azurovým filtrem nevidělo azurovou část obrázku. V aplikacích se toho docílí pomocí nastavení intenzit barev podle použitých brýlí. Anaglyfy mají nevýhodu v tom, že nelze zobrazit celé barevné spektrum obrázku, ale vynikají svou jednoduchostí. Potřebné 3D brýle jsou velmi levné a pro výrobu anaglyfů existuje mnoho freeware programů.

### 3D Anaglyph by HB Labs

Aplikace umožňuje zobrazení 15 těles ve 3D prostoru pomocí anaglyfů s možností přidání vlastních těles s příponou *.obj*. Důležitým aspektem aplikace je také přesné nastavení odstínů barev, což umožňuje přizpůsobit zobrazované anaglyfy odstínům filtrů 3D brýlí. Jsou podporovány červeno-modré, červeno-zelené i červeno-azurové brýle. Zobrazovanými tělesy lze rotovat, pohybovat a je možné si přiblížit i detaily těles. Ukázka anaglyfu je na obr. 11.

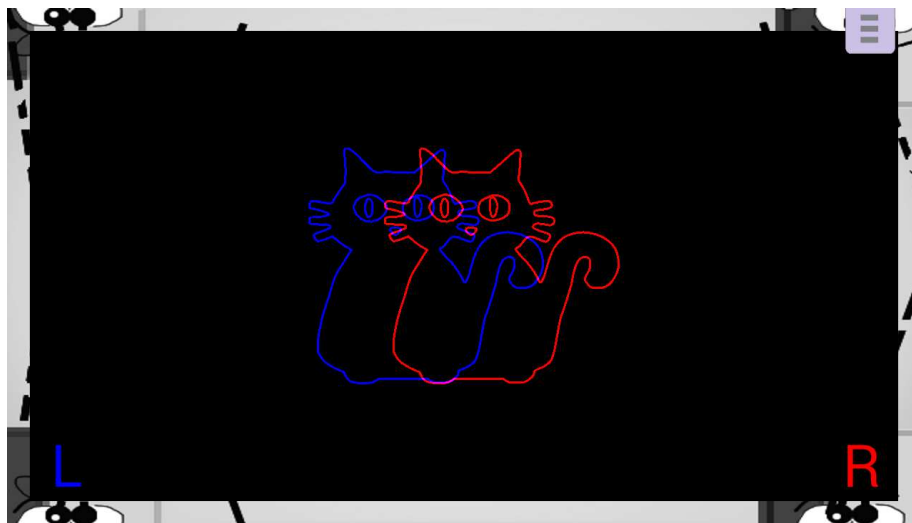


Obr. 11 Aplikace 3D Anaglyph

### Vergence trainer free trial

Aplikace umožňuje procvičování fúze a stereopse pomocí dvou kategorií obrazů. První jsou jednoduché anaglyfové obrazy. Druhou kategorií jsou Random dot stereogramy. Zkušební verze aplikace Vergence trainer obsahuje pouze 1 obraz z obou kategorií. Anaglyf je zobrazen na obr. 12. V nastavení aplikace lze určit vzdálenost pacienta od obrazovky, pupilární distanci pacienta, odstíny barev anaglyfů podle používaných 3D brýlí a také obtížnost Random dot stereogramů.

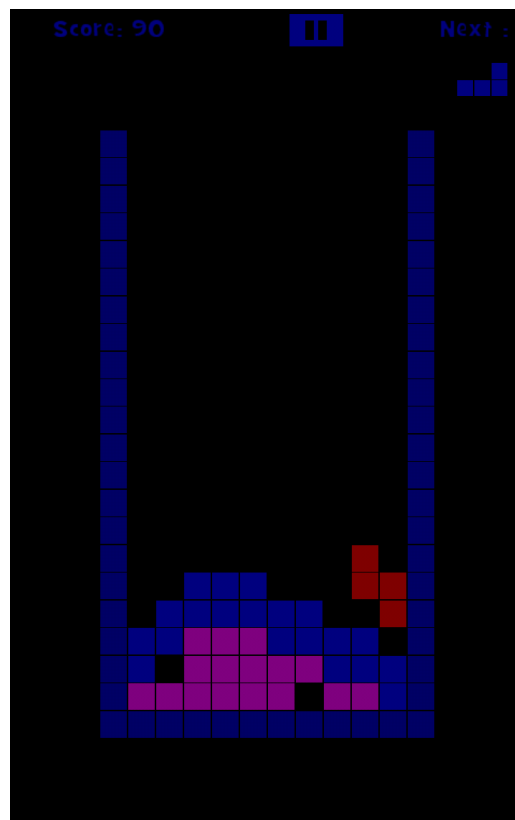
U každého obrazu lze nastavit vzdálenost, ve které se má obraz pacientovi zobrazit. Ten se může zobrazit před i za obrazovkou a lze u něj přesně nastavit disparitu podle míry stereopse pacienta.



Obr. 12 Aplikace Vergence trainer

### Stereo Blocks

Tato aplikace je obdobou známé hry Tetris. Bloky v této hře jsou však tvořené z modrých a červených kostiček, což umožňuje použití 3D brýlí a procvičování fúze. Aplikace je určená hlavně pro rehabilitaci pomocí interaktivní hry. V nastavení je i možnost pro určení dominantního oka. Ukázka ze hry je na obr. 13.



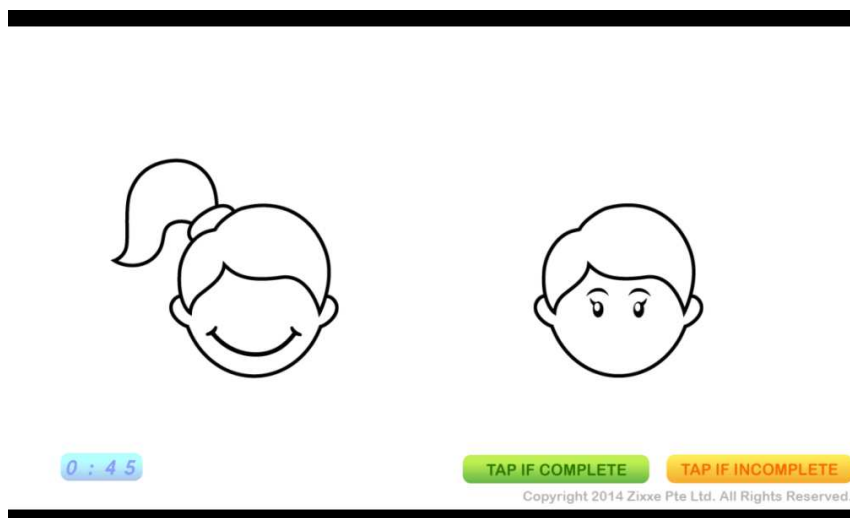
**Obr. 13** Aplikace Stereo Blocks

### 1.2.2 Autostereogram

Autostereogramy, také známé jako Magic Eye 3D se pozorují prostorově bez použití speciálních brýlí. Je však náročnější tyto obrázky ve 3D sledovat. Pro jejich sledování se využívají 2 techniky. První je zkřížená metoda, kdy se pacient soustředí na bod v prostoru, který je před plochou obrázku a druhou je metoda paralelní, při které se pacient soustředí do dálky za obrázkem. Cílem obou metod je vidět obrázek rozdvojeně. Samotné obrázky se vytváří pomocí horizontálně se opakujících tvarů, které při správném pozorování vytváří stereoskopické vjemy.

## MyEyeGym

Aplikace vyvíjená Singapurským národním očním centrem je určena pro rehabilitaci strabismu pro pacienty s omezenou schopností jednoduchého binokulárního vidění. Obsahuje 18 obrazů pro cvičení fúze, které využívají techniku Magic Eye 3D. Podmínkou úspěšné oční terapie je vysoká frekvence cvičení s očima. V návodu k aplikaci je uvedena doporučená frekvence cvičení třikrát až pětkrát denně. Významnou funkcí aplikace je proto časovač, který pacienta několikrát denně upozorní na cvičení. Jedna úroveň cvičení v aplikaci je uvedena na obr. 14.



Obr. 14 Aplikace MyEyeGym

### 1.2.3 Virtuální realita

V roce 2014 vydal Google nový produkt Google Cardboard. Jedná se o brýle pro virtuální realitu. Google zveřejnil návod, jak si tyto brýle postavit zdarma pouze za použití lepenky a dvou čoček. Do těchto brýlí se připevní mobilní zařízení se systémem Android nebo iOS, na kterém se spustí aplikace určená pro systém Cardboard. V těchto aplikacích se na zařízení rozpůlí displej pro zobrazení oddělených obrazů pro obě oči. V obchodě Google Play je dostupných mnoho aplikací pro Google Cardboard, pomocí kterých lze prohlubovat prostorové vidění. Některé aplikace jsou určeny přímo pro terapii poruch jednoduchého binokulárního vidění, ale i ostatní aplikace, jako 3D interaktivní hry pro virtuální realitu lze k terapii použít. Své vlastní platformy pro virtuální realitu s pomocí mobilních zařízení vytváří také HTC a Samsung. Nej kvalitnější podobou virtuální reality jsou však platformy pracující s výkonnějšími zařízeními, například brýle Oculus Rift pro platformu Xbox One.

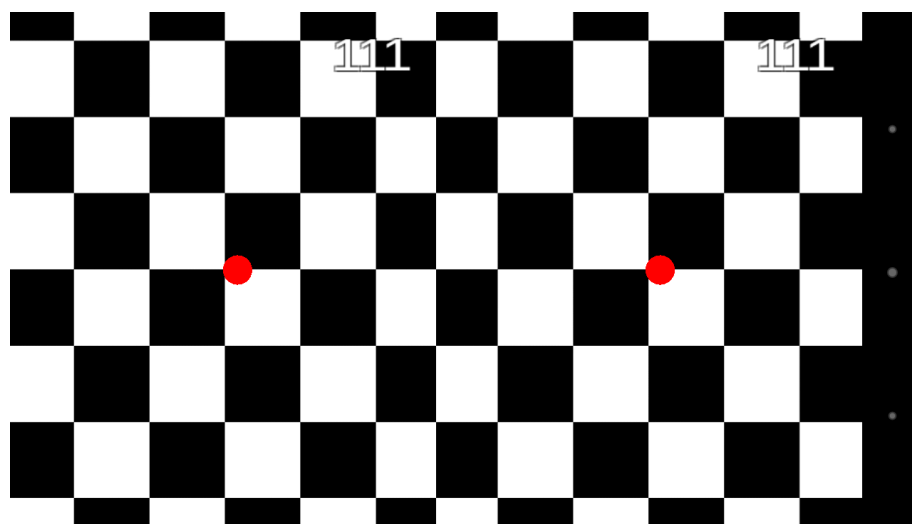
Na obr. 15 jsou vidět rozdíly v brýlích pro virtuální realitu od různých výrobců. Na první pohled je zřejmé, že Google Cardboard vsadil na jednoduchost brýlí, aby mohl rozšířit virtuální realitu mezi co nejvíce zákazníků. Pro Android zařízení jsou na obrázku zobrazeny i brýle od firmy Samsung. Nejvyšší zážitek virtuální reality je schopná prezentovat druhá verze brýlí Oculus Rift. Má však velkou konkurenci, do které patří i prototyp od Sony a HTC.



**Obr. 15** Porovnání různých brýlí pro virtuální realitu [25]

### VR Eye Exercise

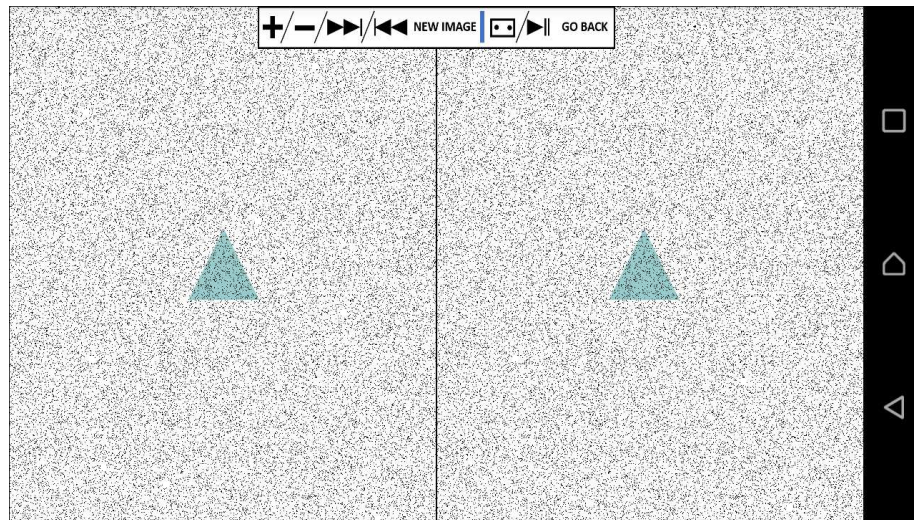
Tato aplikace je určena k rehabilitaci strabismu a amblyopie. Cvičení s aplikací je doporučeno alespoň dvakrát denně. Každé cvičení trvá 10 minut a obsahuje 5 souborů, ve kterých pacient sleduje pohybující se červenou tečku v různých směrech. Ukázka cvičení je na obr. 16.



**Obr. 16** Aplikace VR Eye Exercise

## StereoAcuity Test

Aplikace je založena na klinickém testu poruch jednoduchého binokulárního vidění pomocí Random Dot stereogramů. Technika Google Cardboard znemožňuje přímé ovládání displeje, proto aplikace k ovládání využívá i tlačítko sluchátek. V nastavení lze měnit rozměry zobrazovaných geometrických obrazců. Stereogram s vyznačeným výsledným trojúhelníkem je na obr. 17.



Obr. 17 Stereo Acuity Test se zvýrazněným výsledkem v Random Dot Stereogramu

## 1.3 Zhodnocení řešerše

Jako nejvhodnější metodou pro vytvoření stereoskopických obrázků v SW aplikacích se podle výsledků řešerše jeví anaglyf. Z toho plyne, že anaglyfy jsou nejlevnější a nejjednodušší formou stereoskopických obrázků. Pro pozorování anaglyfů stačí mít pouze papírové brýle s barevnými filtry. Tyto brýle jsou široce dostupné a jejich nízká cena zaručuje možnost využití aplikace pro každého. Ztracené barevné informace anaglyfů představují problém hlavně pro fotografie, ale v terapeutické aplikaci budou použity hlavně jednoduché obrázky pro děti a u těch ztráta barev nehraje roli.

Ze zpracovaných článků je důležitý hlavně základní soubor parametrů, které stereoskopické obrázky musí splňovat pro účinnou aktivaci stereopse. Z řešerše dále plyne jakých hranic disparity by měli vyšetřovaní pacienti dosáhnout, což ovlivní disparity použitých obrázků. Pro cílovou skupinu, nejčastěji děti se strabismem, je nutné v aplikaci použít obrázky s mnohem většími disparitami, z důvodu snížené schopnosti stereopse.

Vzhledem k zadání a dostupným prostředkům bude výsledná softwarová aplikace vytvořena pro tablet s operačním systémem Android. Aplikace bude naprogramována v programovacím jazyku Java. Cílovou skupinou pro tuto aplikaci jsou především děti prvního stupně základní školy s příznaky poruch jednoduchého binokulárního vidění. Je tedy nutné udělat stereoskopické obrázky v aplikaci zajímavými hlavně pro děti. Důležitou součástí aplikace bude také databáze výsledků jednotlivých cvičení, pomocí

které bude ošetřující lékař schopný vyhodnotit prohloubení stereopse od poslední návštěvy ve specializované dětské oční ambulanci.

Aplikace pro operační systém Android zmíněné v rešerši zpravidla nemají rozsáhlou databázi pacientů s možností uložení výsledků. Cvičení také probíhá na stále stejných obrázcích, z čehož plyne, že pacient si může zapamatovat správnou odpověď pro opakující se cvičení. Z toho důvodu je vhodné implementovat náhodný výběr obrázků pro stálé zlepšování stereopse pacienta.

Z výsledků rešeršní práce plyne, že softwarové aplikace pro nácvik stereopse jsou dalším krokem ve zdokonalení testů stereopse a brzy nahradí standardní stereotesty.



## 2 Teoretický rozbor prohlubování stereopse

Pravé prostorové vidění lze je funkcí binokulárního vidění. Prostorový vjem lze však vyvolat i monokulárně, tedy jedním okem, pomocí perspektivy nebo porovnáváním stínů a zbarvení. V tomto případě však nelze mluvit o pravé stereopsi, která je přesnější. Monokulární vnímání závisí na zkušenosti. Pro správnou funkci stereopse je nutné jednoduché binokulární vidění, tedy vidění jednoho nezdvojeného obrazu oběma očima najednou, [8]

### 2.1 Fyziologie binokulárního vidění

Prostorové vidění neboli stereopse je schopnost vytvoření hloubkového vjemu spojením mírně odlišných obrazů z obou očí. Podmínkou stereopse tedy je jednoduché binokulární vidění. JBV lze definovat jako koordinovanou senzomotorickou<sup>4</sup> činnost obou očí, která vede k vytvoření jednoduchého obrazu pozorovaného předmětu.[7]

#### 2.1.1 Vývoj binokulárního vidění

Jednoduché binokulární vidění není vrozené, ale vyvíjí se do 2. roku života. Do 6 let se JBV upevňuje a stabilizuje. Pokud však během tohoto období oči postihne porucha, přeruší se normální vývoj a pokračuje vývoj patologický. Při patologickém vývoji běžně vzniká šilhání, tupozrakost a anomální retinální korespondence. Ortoptická cvičení mohou napravit tyto vady, ale mohou obnovit binokulární vidění jen do takového stavu, ve kterém bylo na konci normálního vývoje, tedy před poruchou. Důležité je rozpoznat poruchy JBV co nejdříve, jinak se mohou stát trvalými.[8], [9]

Za normálních podmínek si člověk není vědom rozdílu v obraze levého a pravého oka, stejně jako nedokáže pohybovat každým okem zvlášť. Proto se JBV pokládá za soubor podmíněných reflexů. Prvním vyvinutým optomotorickým reflexem je reflex fixační. Ten se projevuje od 3. měsíce vývoje tím, že fixuje centrální vidění na pozorovaný předmět a tím ho drží v zorném poli. Na jeho základě se vyvíjí vergenční fixační reflex, který umožňuje fixaci očí podle vzdálenosti předmětu. Dalším důležitým reflexem pro JBV je akomodační reflex. Ten se objevuje ve 4. měsíci a umožňuje ostré vidění blízkých předmětů. Plně vybudovaný akomodačně konvergenční reflex se projevuje až ve 3 letech.[7], [8]

---

<sup>4</sup> Zahrnuje smyslovou i pohybovou složku.

### 2.1.2 Normální retinální korespondence

Sítnicové body levého oka korespondují se sítnicovými body pravého oka. Korespondence dvou bodů znamená, že pokud se dráždí tyto body zároveň, mozek lokalizuje podráždění, tedy zrakový vjem, ze stejného směru. Hlavními korespondenčními body obou očí jsou fovey<sup>5</sup>. Ostatní sítnicové oblasti, které korespondují, jsou umístěny vždy na opačné straně od fovey, tzn. sítnicové body nasální poloviny pravého oka korespondují s body temporální poloviny levého oka a naopak.[8]

### 2.1.3 Podmínky JBV

Podmínky jednoduchého binokulárního vidění jsou rozděleny na složky senzorické a motorické.[7], [8]

#### Složky senzorické

- normální nebo téměř normální vidění obou očí
- přibližně stejně velké sítnicové obrazy obou očí
- centrální fixace obou očí
- normální retinální korespondence
- schopnost fúze
- normální funkce zrakových drah a center [8]

#### Složky motorické

- přibližně paralelní postavení očí při pohledu do dálky
- volná pohyblivost očí ve všech směrech
- normální funkce motorických drah a center
- koordinace akomodace a konvergence [8]

### 2.1.4 Formy JBV

Jednoduché binokulární vidění lze rozdělit na 3 stupně: superpozice, fúze a stereopse.

#### Superpozice

Superpozice znamená současné vidění obou očí. Je to schopnost vnímání obrazů z obou sítnic na jednu a jejich následné překrytí. Obrazy nemusí být stejné, mohou se mírně lišit.[7]

---

<sup>5</sup> Jamka uprostřed žluté skvrny sítnice, místo nejostřejšího vidění.

## **Fúze**

Fúze je schopnost spojení obou obrazů do jednoho. Dělí se na dvě složky, senzorickou a motorickou.[7]

## **Stereopse**

Stereopse je nejvyšším stupněm jednoduchého binokulárního vidění. Umožňuje vytvoření hloubkového vjemu spojením obrazů, jejichž části se nezobrazují v očích na korespondujících místech sítnice, ale na mírně disparátních sítnicových bodech. Fúze i stereopse nejsou schopnosti sítnice, ale mozkové kůry.[7], [8]

### **2.1.5 Panumův prostor**

Oblast v prostoru, ve které je možné zobrazit předměty pomocí stereopse, se nazývá Panumův prostor. Rozkládá se po stranách fixačního bodu, těsně před i za horopterem. Má oboustranný klínovitý tvar. Areály disparátních bodů na sítnici, na kterých se zobrazuje pozorovaný předmět, se nazývají Panumovy areály. Pokud se předmět zobrazí s přílišnou disparitou, nespadá už do Panumova prostoru a vyvolá fyziologickou diplopii.[8]

### **2.1.6 Horopter**

Horopter je soubor všech bodů, které se nacházejí ve sledovaném prostoru a jejich obrazy dopadají na korespondenční místa sítnic při určitém postavení očí. Tvar horopteru je vyklenutá plocha procházející fixačním bodem.[8]

### **2.1.7 Fyziologická diplopie**

Fyziologická diplopie je zdvojené vidění předmětů nacházejících se mimo Panumův prostor. Běžně ji člověk nevnímá, protože se soustředí pouze na oblast vědomého pohledu.[8]

## **2.2 Patologie binokulárního vidění**

Patologické procesy binokulárního vidění zabraňují správné funkci JBV a tím znemožňují i správné prostorové vidění. Tyto procesy dělíme do několika skupin:

### **2.2.1 Suprese**

Mozková kůra nemůže vnímat dva obrazy překryté přes sebe. Kvůli tomu je potřebná fyziologická funkce suprese neboli útlum. Touto funkcí se zabraňuje vstupu přebytečných informací do zrakových center a je umožněno pouze vnímání předmětů na které jsou oči zaměřeny, tedy pouze vědomý pohled. [7], [8]

Suprese je samovolný proces, jež může být patologicky zesílen jinou binokulární poruchou. Většinou nezasahuje celou sítnici, ale jen některé části. Podle druhu poruchy JBV se mění intenzita, rozsah i tvar oblasti postižené útlumem. U šilhajících dětí však může útlum působit na celé oko, což zapříčiní trvalé vidění pouze jedním okem. [7], [8]

### 2.2.2 Amblyopie

Tupozrakost neboli amblyopie je snížení zrakové ostrosti oka, u kterého nelze prokázat žádné anomálie. Nejčastější je amblyopie monokulární, může se však objevit i amblyopie obou očí. Existuje několik typů amblyopií, přičemž se nemusí každá vyskytovat izolovaně. Podle stupně zhoršeného vidění lze amblyopii rozdělit: [7], [8]

- těžká amblyopie s vizem<sup>6</sup> horším než 6/60
- střední amblyopie s vizem od 6/60 do 6/18
- lehká amblyopie s vizem od 6/18 do 6/8 [8]

#### Amblyopie ex anopsia

Amblyopie z nepoužívání je způsobena dlouhodobou nedostatečnou stimulací oka. V nepoužívaném oku se postupně začne zhoršovat zrak. Do této kategorie patří i oklusní amblyopie, která se vyskytuje při oklusi zdravého oka z důvodu léčby tupozrakosti oka druhého. [7], [8]

#### Amblyopie kongenitální

Amblyopie kongenitální neboli vrozená tupozrakost. Léčbou se tato amblyopie zlepšuje jen mírně a pouze do určitého stupně. [8]

#### Amblyopie anizometropická

Anizometropická amblyopie je způsobena jinou velikostí foveálních obrazů, objevuje se při rozdílných refrakčních vadách mezi očima o 2 až 3 dioptrie. Při jiné velikosti obrazů očí selhává fúze a vzniká útlum anizometropického oka. [8]

#### Amblyopie meridionální

Objevuje se při velkém vrozeném astigmatismu, což je vada způsobující nepřesné zaostření světla na sítnici. Slabá rozlišovací schopnost přetrvává i přes správnou korekci. [8]

#### Amblyopie ametropická

Může se vyskytnout při značné refrakční vadě, hlavně při hypermetropii (dalekozrakosti). [8]

---

<sup>6</sup> Zraková ostrost, vyjadřuje se zlomkem.

### **Amblyopie relativní**

Při výskytu organické vady v centrální optické oblasti sítnice může vznikat nejasný foveální obraz. Při takovém obrazu nemůže správně fungovat fúze a tím vzniká relativní amblyopie. [8]

### **Amblyopie při strabismu**

Při šilhání vidí pacient dva různé předměty na stejném místě. Kvůli tomu vzniká útlum vychýleného oka při binokulárním pozorování. Když je šilhání trvalé, vytváří se strabická amblyopie. [7], [8]

## **2.2.3 Anomální retinální korespondence**

Funkční adaptace na vychýlení jednoho oka, kdy centrální nervový systém změní korespondující body sítnic tak, aby spolu mohly oči nadále spolupracovat. Tvoří se nové sítnicové vztahy, s foveou fixujícího oka začne nově spolupracovat oblast na periférii sítnice oka vychýleného. ARK oči využívají jen při binokulárním vidění, vzniká tzv. nepravé binokulární vidění. Při zakrytí fixujícího oka začne vychýlené oko k fixaci znovu využívat svoji foveu. ARK se objevuje až u 60% dětí se strabismem. [7], [8]

## **2.2.4 Strabismus**

Šilhání neboli strabismus, v posledních desetiletích také heterotropie, je funkční porucha, u které osy vidění při fixaci předmětu nesměřují souměrně do jednoho bodu, není tedy přítomno JBV. Pacienti se strabismem se navenek projevují asymetrickým postavením očí. Projevuje se u 4-6% narozených dětí. Významným faktorem určujícím, zda dítě bude mít strabismus, je dědičnost. Existují dvě hlavní skupiny strabismu. [7], [8]

### **Strabismus konkomitující**

Jinak také strabismus dynamický. Tento typ strabismu je mnohem častější než strabismus paralytický. Je doprovázen neporušenou hybností očí. Vzájemné postavení očí je však asymetrické, nemůže tedy vzniknout JBV. Podle směru úchylky lze rozdělit: [8]

- **Strabismus konvergentní**  
Nazývá se esotropie a je nejčastější formou strabismu. Většinou se vyskytuje v jednostranné formě, kdy jedno oko vždy fixuje a druhé je vychýlené. Může být i ve formě střídavé, kde se oči střídají ve fixaci. [8]
- **Strabismus divergentní**  
Divergentní strabismus neboli exotropie bývá v základní formě střídavý i jednostranný, s velkou úchylkou do blízka i do dálky. [8]
- **Strabismus sursumvergentní**  
Nazýván též hypertropie. Vyskytuje se u něj vertikální vychýlení oka. [8]

## **Strabismus inkomitantní**

Inkomitantní, tedy paralytický strabismus, je doprovázen omezenou pohyblivostí očí. Je způsoben poruchou v motorické sféře zrakového ústrojí. Dělí se na vrozený (kongenitální) a získaný. [8]

### **2.2.5 Heteroforie**

Heteroforie, jinak také skryté šilhání, je latentní forma strabismu. V populaci je velmi rozšířená. Objevuje se pouze při disociaci očí, například při zakrytí nebo zavření jednoho oka. [24]

## **2.3 Ortoptika**

Ortoptika je obor, jehož cílem je obnova jednoduchého binokulárního vidění. Snaží se tedy zlepšit spolupráci obou očí při poruše funkcí JBV a ideálně obnovit prostorové vidění. Toho dosahuje pomocí komplexních pleopticko-ortoptických cvičení. Tato cvičení se užívají převážně u dětí. U dospělých jsou cvičení pouze výjimečná. Dříve se totiž předpokládalo, že je možné obnovit JBV pouze u dětí v určitém věku, hlavně mezi 4. až 8. rokem života. V posledních letech se však objevují články poukazující na obnovení stereopse u dospělých, kteří prostorové vidění nikdy neměli. [7], [11], [13], [15]

Při rozsáhlých poruchách JBV se nejdříve používá okluzní terapie. Při okluzi se dlouhodobě zalepí zdravé oko, což donutí postižené oko k postupnému zlepšení. Při této léčbě jsou nutné pravidelné prohlídky, protože hrozí vyvinutí amblyopie u dříve zdravého oka. [11], [16]

Na okluzní terapii navazuje pleoptická léčba. Ta má za úkol zlepšení vidění postiženého oka. U této léčby se využívají různá cvičení zaměřená hlavně na namáhání oka do blízka. Až se viděnílepší, nastupuje ortoptická léčba. Pro ortoptickou léčbu jsou užívány převážně následující přístroje. [11]

### **2.3.1 Troposkop**

Troposkop se využívá nejen pro vyšetření stereopse, jak je popsáno v rešerši, ale i pro nácvik prostorového vidění. Je to nejpoužívanější ortoptický přístroj. Do jeho dvou ramen se vloží obrázky, které se pacient snaží spojit pomocí horizontálního i vertikálního posunu ramen, jak lze vidět na obr. 18. [11], [16]



**Obr. 18** Cvičení na troposkopu

### 2.3.2 Cheiroskop

Cheiroskop je přístroj, který obsahuje šikmé zrcadlo pro disociaci očí. Pacient se dívá přes čočky s +8 dioptriemi, kdy jedno oko se dívá na zrcadlo, přes které vidí obrázek, a druhé oko se dívá přímo na papír, kde vidí špičku tužky. Pomocí superpozice musí obrázek překreslit na papír. Ukázka cvičení na tomto přístroji je na obr. 19. [13], [18]



**Obr. 19** Cvičení na cheiroskopu

### 2.3.3 Stereoskop

Pro ortoptické cvičení se také využívají různé druhy stereoskopů. Stereoskop je přístroj, který odděluje zorná pole očí mechanickou přepážkou. Každé oko pak sleduje mírně odlišný obrázek, který se pomocí stereopse spojí v jeden plastický obraz. [11], [13]

## 2.4 Stereoskopie

Stereoskopie je technika pro vytvoření prostorového vjemu z 2D obrázků. Principem této techniky je doručení mírně odlišných obrázků oběma očím, které pak pomocí stereopse vytvoří detail v prostoru. Stereoskopické obrázky neboli stereogramy je možné využít pro ortoptické cvičení. Stereogramy mají tedy stejný cíl jako dříve zmíněný stereoskop, ale využívají k jeho dosažení i jiné prostředky než jen mechanickou přepážku mezi zornými poli očí. [18]

Stereoskopické techniky lze rozdělit podle umístění dvou obrazů do dvou kategorií. V první kategorii jsou obrazy umístěny vedle sebe a v druhé jsou obrazy překryté. Dále lze tyto techniky rozdělit podle nutnosti použití speciálních brýlí pro sledování. Nejpoužívanější techniky stereoskopie jsou popsány v rešerši.

### 2.4.1 Anaglyf

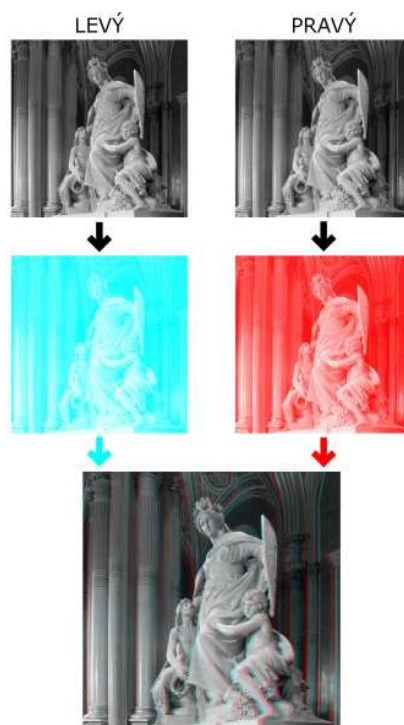
Anaglyf patří k nejstarším a nejjednodušším stereoskopickým technikám. Jeho podstatou je, stejně jako u všech stereoskopických technik, doručit každému oku mírně odlišný obraz pro vytvoření prostorového vjemu. Toho docílí pomocí barevných filtrů. Ke sledování anaglyfů jsou nutné brýle s nejčastěji červeno-azurovými filtry. Existuje však mnoho kombinací filtrů, například červeno-modré, červeno-zelené nebo žluto-modré. Konvence určuje, že na levé oko patří červený filtr brýlí. [18], [19]

Největší výhodou anaglyfu je jeho snadné použití. Ke sledování stačí jednoduché papírové brýle s barevnými filtry. Anaglyf lze zobrazit kdekoliv na monitoru, plátně i papíře.

### Výroba anaglyfu

Anaglyf vzniká tak, že z obrazu určeného pro levé oko se odstraní červená složka a z obrazu pro pravé oko se odstraní složky zelená i modrá. Tím se vytvoří obrazy s azurovým odstínem pro levé oko a červeným odstínem pro pravé oko. Při následném překrytí těchto dvou obrazů vznikne anaglyf. Když se tento výsledný obraz sleduje brýlemi s barevnými filtry, pak přes červený filtr brýlí není vidět červená složka a přes azurový filtr není vidět modrozelená složka obrazu. To znamená, že levé oko nevidí obraz určený pro oko pravé a stejně je tomu i naopak. Pro nejlepší obraz je nutné při sledování použít brýle se shodnými odstíny barevných filtrů jako jsou odstíny obrázku. Příklad tvorby anaglyf je uveden na obr. 20. [19]





**Obr. 20** Tvorba anaglyfu [20]

### **Problémy anaglyfu**

Při vytváření 3D efektu pomocí manipulace barevného spektra je zřejmé, že není možné zachovat všechny barvy původního obrazu. Anaglyf navíc není vhodný pro osoby trpící poruchou barvocitu. Při jeho prohlížení se navíc objevují problémy u přechodů mezi některými barvami způsobujícími tzv. ghosting neboli duchy. [19]

### **Typy anaglyfu**

Existuje mnoho typů anaglyfů, přičemž každý využívá jiné barevnosti. Jiná barevnost znamená, že anaglyf nemusí být pouze plně barevný, ale i polobarevný či černobílý. Při menší výsledné barevnosti vzniká vyšší komfortnost při sledování z důvodu vymizení problémových barev. Je to však za cenu špatné či žádné reprodukce původních barev. Například černobílý anaglyf, který je zobrazen v odstínech šedi, ve výsledném obraze využívá červenou a modrozelenou složku obrazu pouze pro oddělení prostorového vjemu. [19], [20]

### 3 Teoretický návrh SW aplikace pro nácvik stereopse

Cílem bakalářské práce je vytvořit softwarovou aplikaci využitelnou při ortoptických cvičeních pro nácvik a prohlubování stereopse. Aplikace má být určená pro použití na dětské oční klinice fakultní nemocnice Ostrava, která má k tomuto účelu k dispozici tablet Lenovo Tab A2 10 s operačním systémem Android. Aplikace Stereopse je tedy optimalizována přesně na tento tablet.

#### 3.1 Zařízení Lenovo Tab 2 A10-70

Lenovo Tab 2 A10-70 je tablet s operačním systémem Android verze 5.0 Lollipop. Tablet má v sobě čtyř-jádrový procesor s taktovací frekvencí 1.7 GHz a operační paměť 2 GB. Velikost interního úložiště je 16 GB. Pro vývoj aplikace jsou však nejdůležitější specifikace displeje tohoto zařízení: [12]

- Typ: IPS LCD kapacitní displej
- Velikost: 10.1 palců
- Rozlišení: 1920 x 1200 pixelů
- Hustota: 224 pixelů na palec
- Maximální svítivost: 354.2 cd/m<sup>2</sup>
- Kontrast: 1848:1 [12]

#### 3.2 Specifikace aplikace

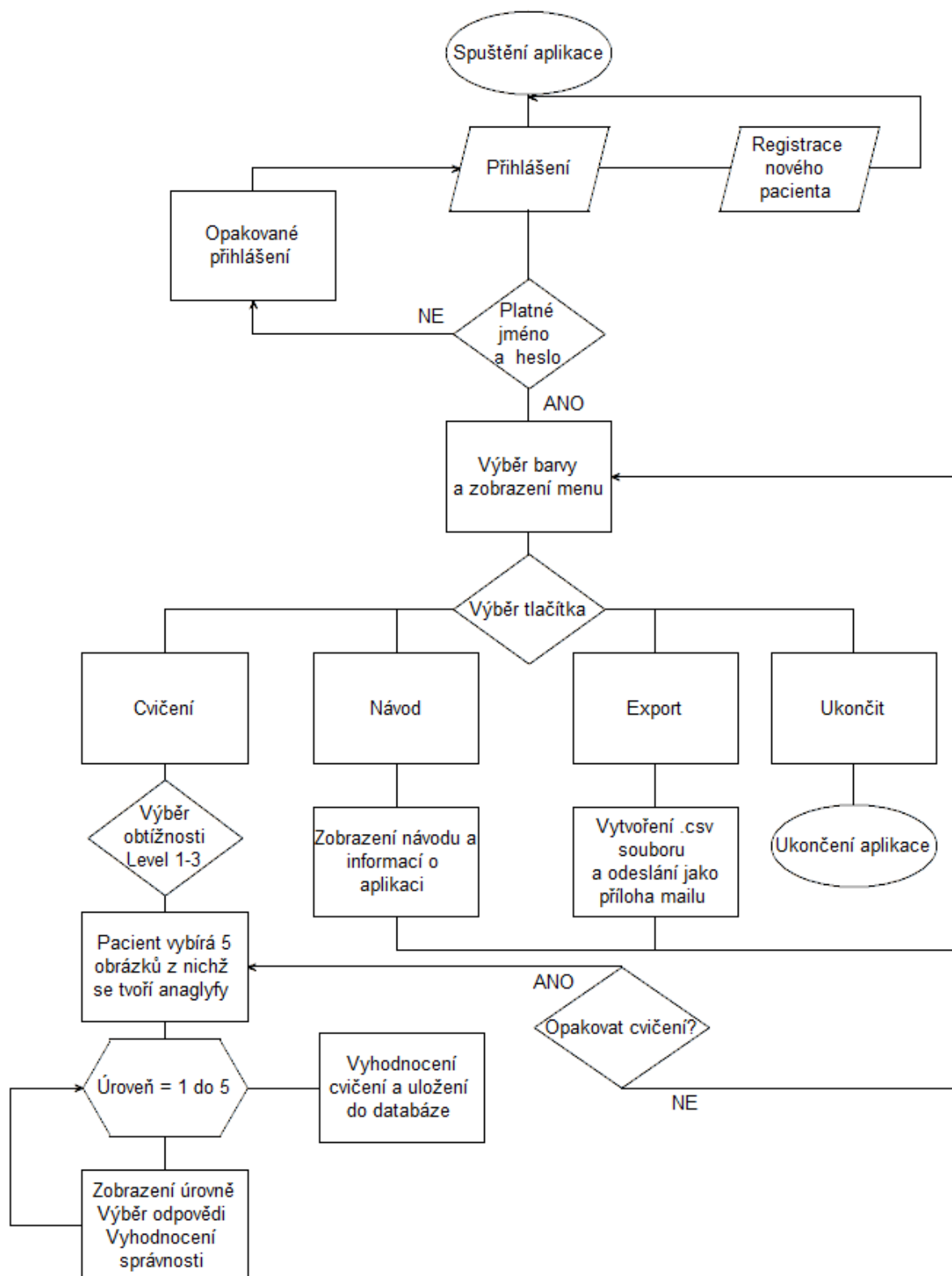
Aby mohla být aplikace použita k prohlubování stereopse musí umět vytvořit stereoskopické obrázky, na kterých budou pacienti cvičit. K usnadnění vyhodnocení absolvovaných cvičení musí aplikace obsahovat i možnost uložení výsledků jednotlivých cvičení pro každého pacienta zvlášť. Při cvičení v aplikaci bude dána sledovací vzdálenost 35 cm.

##### 3.2.1 Uživatelské rozhraní

Cílovou skupinou pro užití aplikace jsou děti navštěvující dětskou oční kliniku FNO. Z tohoto důvodu je nutné, aby byla zajímavá pro děti. Aplikace tedy má mít grafickou stránku, která děti zaujme, a to především barvami a dětskými obrázky.

Dalším předpokladem pro využití aplikace je jednoduché ovládání, protože se musí počítat s tím, že pacienti nebudou schopni číst a operovat se složitým softwarem. Ovládání tabletu je dotykové, z čehož plyne, že pokud aplikace bude mít dost velká tlačítka a jednoduchou strukturu cvičení, budou i nejmladší pacienti schopni aplikaci ovládat intuitivně již po krátkém používání.

V aplikaci je dále řešena i možnost volby testovacích obrázků. Pacient si bude moci vybrat z obrázkové galerie ze kterých obrázků chce vytvořit stereogramy pro cvičení. Aby byla aplikace vhodná pro různé děti obsahuje galerie 10 obrázků, ze kterých si před každým cvičením pacient vybere 5.



**Obr. 21** Vývojový diagram

### 3.2.2 Vývojový diagram aplikace

Na obr. 21 je zobrazen vývojový diagram aplikace. Z diagramu lze vyčíst postup úkonů, které aplikace vykonává po jejím spuštění.

Spouštěcí aktivita aplikace je přihlášení pacienta. Pacient vkládá své přihlašovací údaje. Pokud ještě není registrovaný, lze z této aktivity přejít na registraci nového pacienta. Po vložení platných přihlašovacích údajů se pacient dostává do hlavního menu aplikace. V menu má na výběr ze 4 tlačítek. Může spustit cvičení, zobrazit si návod k aplikaci, exportovat své výsledky cvičení nebo aplikaci ukončit.

Při výběru cvičení se spustí aktivita výběru obtížnosti. Po zvolení obtížnosti se na obrazovce objeví galerie s 10 obrázky, kde si pacient vybere 5 z nich. Každý zvolený obrázek odpovídá jedné úrovni cvičení. Až si pacient vybere všech 5 obrázků spustí se první úroveň. Pacient zvolí odpověď, aplikace vyhodnotí správnost odpovědi a spustí úroveň další. Po skončení poslední úrovně daného cvičení se zobrazí závěrečná obrazovka cvičení, kde je zhodnocení výsledku. Výsledek se uloží do databáze a pacient má možnost opakovat cvičení se stejnou obtížností nebo se může vrátit do hlavního menu.

### 3.2.3 Cvičení

Cvičení v aplikaci Stereopse probíhá na stereoskopických obrázcích. Z výsledků řešerše současného stavu problematiky prohlubování stereopse je zřejmé, že nejjednodušší metodou tvorby stereoskopických obrázků na daném zařízení je anaglyf. Aplikace tedy využívá tuto metodu a je nutné ke správnému využití použít k zařízení navíc 3D červeno-azurové (red-cyan) brýle. V aplikaci je používán černobílý anaglyf pro co nejkomfortnější sledování a jednoduché vytvoření prostorového vjemu.

Podstatou cvičení v aplikaci Stereopse je zobrazení 4 obrázků vedle sebe s tím, že vždy má pacient za úkol vybrat jeden z nich. Správně vybraný obrázek je vždy ten, který s pomocí anaglyfu tvoří prostorový vjem tak, že vystupuje z obrazovky nejvíce k pacientovi. Aby bylo zabráněno tomu, že by se pacienti naučili nazpaměť na které pozici se nachází ten správný obrázek, jsou obrázky v každé úrovni promíchány a správná odpověď musí být vždy zvolena pomocí stereopse. Cvičení v aplikaci obsahuje tři různé obtížnosti (levely) lišící se počtem i směrem posunutých obrázků:

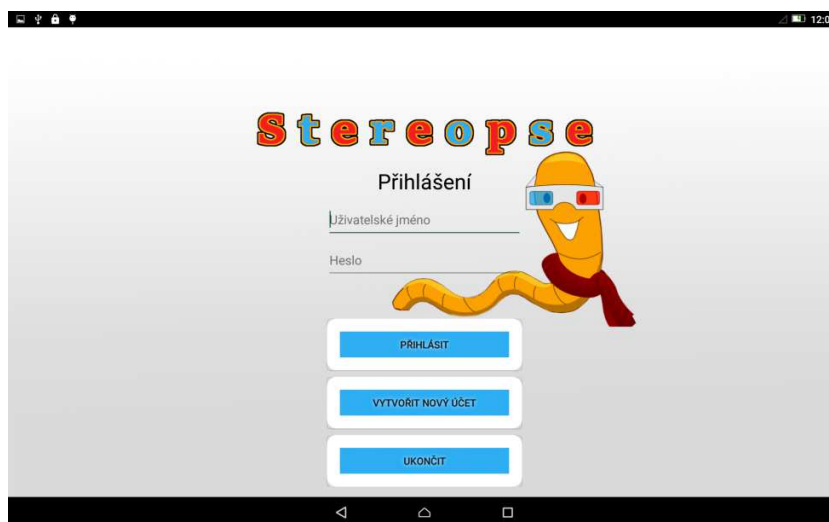
- Level 1: 1 obrázek vpředu, 3 bez posunu
- Level 2: 1 obrázek vpředu, 1 vzadu, 2 bez posunu
- Level 3: 2 obrázky vpředu, 1 vzadu, 1 bez posunu

## 4 Návrh a realizace SW aplikace

Aplikace Stereopse byla vytvořena v Android Studiu verze 1.5. Podle teoretického návrhu aplikace obsahuje celkem 10 aktivit. V této kapitole jsou rozebrány některé prvky použité pro vytvoření aplikace, které jsou rozčleněny tak, jak spadají do jednotlivých aktivit.

### 4.1 Přihlášení

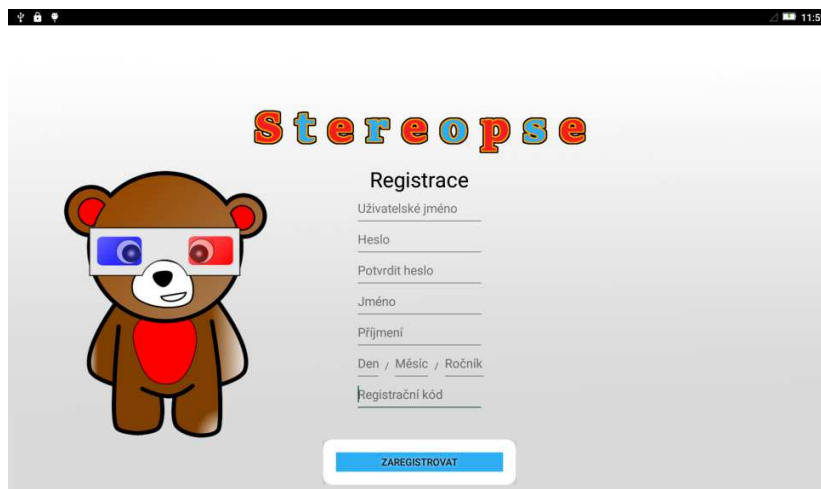
Přihlášení je první aktivita, do které se uživatel dostane po spuštění aplikace. Zobrazí se zde dvě pole pro editaci textu. Do prvního pole se vkládá pacientovo uživatelské jméno a do druhého heslo. Ve spodní části obrazovky jsou 3 tlačítka. Prvním je tlačítko přihlášení, které po stisknutí ověřuje údaje pacienta s údaji uloženými v databázi. Druhé tlačítko umožňuje vytvoření účtu pro nového pacienta a třetí tlačítko ukončí aplikaci. Vzhled aktivity je ukázán na obr. 22.



Obr. 22 Přihlášení

### 4.2 Registrace

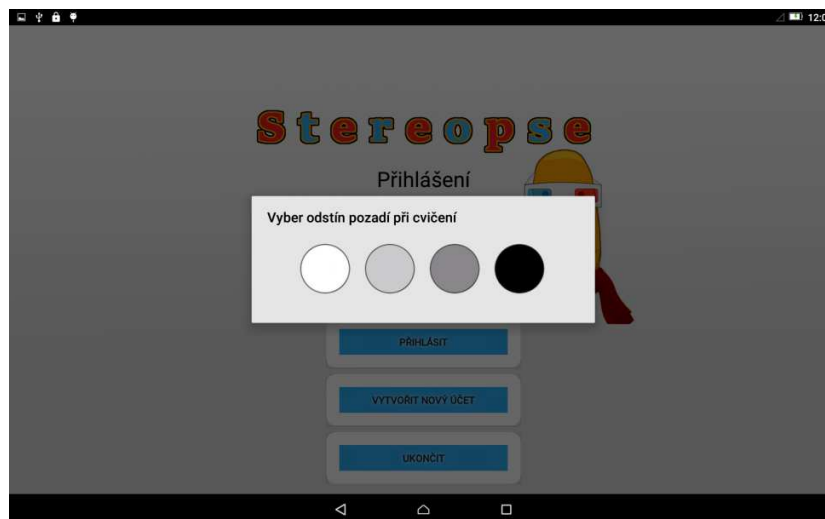
Při zvolení tlačítka vytvoření nového účtu se uživatel dostane na aktivitu registrace. Registraci nového pacienta do aplikace provádí zdravotní personál. V aktivitě se nachází 9 polí pro editaci textu, do kterých se zadávají pacientovy údaje. Nejprve se vloží uživatelské jméno pacienta, následuje heslo a potvrzení hesla. Do dalších polí se zadává jméno, příjmení a datum narození. Datum narození je rozděleno do 3 polí, kde do prvního patří den, do druhého měsíc a do třetího rok narození. Poslední pole obsahuje registrační kód, který pacientům není znám, aby se zaručilo, že se pacienti nebudou registrovat sami. U spodního okraje obrazovky se nachází tlačítko pro registraci pacienta se zadanými údaji do databáze. Aktivita je zobrazena na obr. 23.



Obr. 23 Registrace

### 4.3 Výběr barvy

Po vložení platných přihlašovacích údajů se uživateli zobrazí aktivita pro výběr barvy pozadí při cvičení. Tato aktivita má charakter dialogového okna, to znamená, že má pouze omezenou velikost na obrazovce a její okolí je ztmaveno. V tomto dialogovém okně se nachází 4 tlačítka. Pacient si vybere jedno z nich, přičemž každé reprezentuje jednu barvu. Na výběr jsou bílá, světle šedá, šedá a černá barva. Po stisku jednoho z těchto tlačítek se uživatel dostává do menu. Dialogové okno výběru je na obr. 24.



Obr. 24 Výběr barvy pozadí

## 4.4 Menu

V hlavním menu aplikace má pacient na výběr ze 4 tlačítek, jak je naznačeno na vývojovém diagramu v předchozí kapitole. První tlačítko, cvičení, otevírá aktivitu pro výběr obtížnosti nového cvičení. Druhé tlačítko zobrazí aktivitu návod. Třetí tlačítko umožňuje export všech výsledků pacienta, který je podrobně popsán v následujících kapitolách. Posledním tlačítkem se pacient může odhlásit. Tím se znovu zobrazí přihlašovací aktivita aplikace, což umožní přihlášení dalšího pacienta. Hlavní menu je na obr. 25.



Obr. 25 Hlavní menu

## 4.5 Návod

V této aktivitě je pouze jedno tlačítko, zpět do menu. Nacházejí se zde dva textové odstavce. Jeden odstavec obsahuje návod k aplikaci a druhý stručně popisuje aplikaci, její účel a autora. Aktivita návodu je uvedena na obr. 26.



Obr. 26 Návod

## 4.6 Výběr obtížnosti

Při každém cvičení je první zobrazenou aktivitou výběr obtížnosti. Na obrazovce se objeví 3 ob-  
rázková tlačítka, jejichž podoba je závislá na uživatelské nejvyšší dokončené obtížnosti. Nový pacient  
může zvolit pouze nejlehčí obtížnost, tedy level 1. To je ukázáno na obr. 27. Vyšší obtížnosti se pacientovi  
odemykají až po úspěšném splnění předchozí obtížnosti, což znamená mít celé cvičení bez chyby.

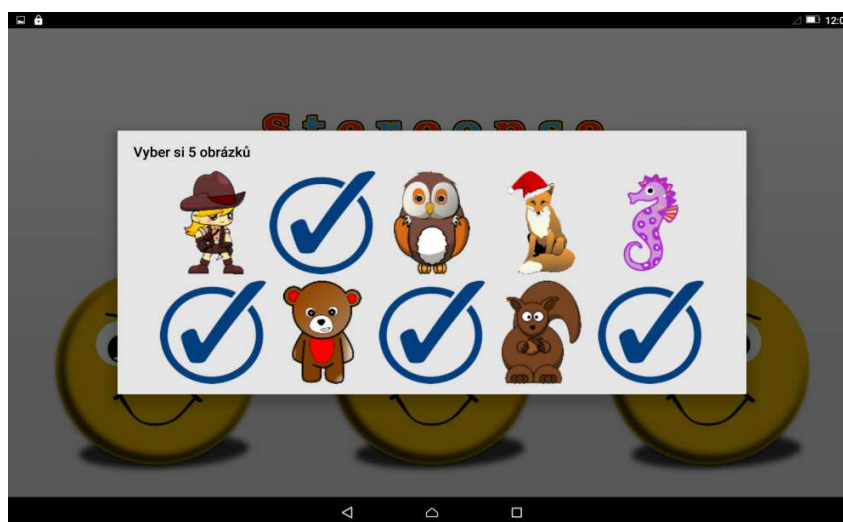


Obr. 27 Výběr obtížnosti



## 4.7 Galerie obrázků

Po zvolení obtížnosti se objevuje galerie obrázků. Má podobu dialogového okna. Je zde zobrazeno 10 obrázků dostupných ke cvičení, jen v poloviční velikosti. Uživatel si zde vybere 5 obrázků, ze kterých se následně vytvoří anaglyfy pro cvičení. Na obr. 28 je zobrazena galerie, ve které pacient zatím vybral 4 obrázky.



Obr. 28 Galerie obrázků

## 4.8 Cvičení

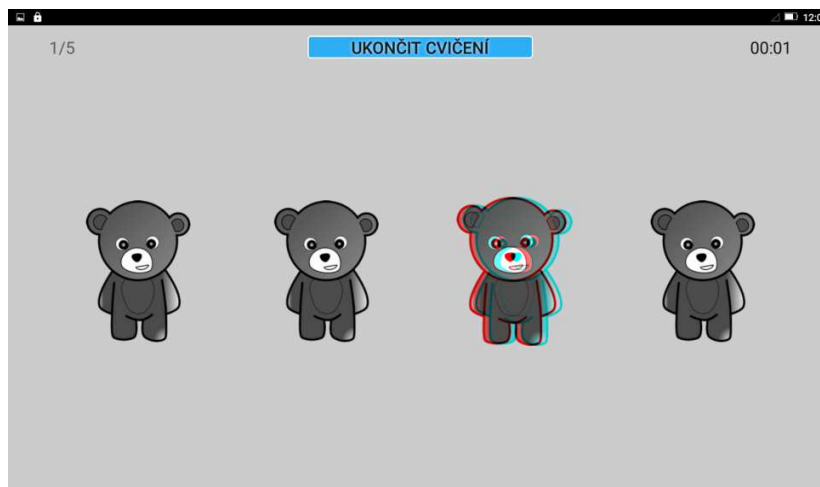
Aktivita cvičení obsahuje 5 úrovní. V každé úrovni se zobrazí jeden obrázek, který uživatel vybral v galerii. Tento obrázek se objeví ve 4 verzích vedle sebe, přičemž jen jeden má výrazný prostorový efekt jakoby vystupoval z obrazovky k pacientovi. Jeho úkolem je dotknout se právě tohoto obrázku. Dále aktivita obsahuje textové pole v levé horní části ukazující v kolikáté úrovni cvičení se pacient právě nachází. V pravé horní části je chronometr, který ukazuje celkový čas cvičení. Nahoře je také tlačítko, pomocí kterého lze cvičení ukončit.

### 4.8.1 Realizace cvičení

V této kapitole jsou popsány jednotlivé aspekty důležité pro cvičení v aplikaci Stereopse.

#### Nastavení pozadí

Při vytváření aktivity cvičení se nejdříve pomocí metody *getDefaultSharedPreferences()* zjistí jakou barvu pozadí cvičení si uživatel vybral při přihlášení. Výstupem je číslo od 1 do 4, které pomocí přepínače a metody *setTheme()* nastaví motiv s vybranou barvou pozadí. Cvičení s šedým pozadím je na obr. 29. Tmavě šedé pozadí je na obr. 30 a černé na obr. 31.



**Obr. 29** Ukázka cvičení, level 1 s šedým pozadím

Protože obrázky pro nácvik stereopse by měly mít stejnou hodnotu jasu jako současné LCD optotypy, objevuje se v metodě *onResume()* této aktivity nastavení jasu obrazovky. U LCD optotypů se však využívá velký rozsah svítivosti obrazovky. Ve většině studií se využívá svítivosti od 40 do 220 cd/m<sup>2</sup>. V této aplikaci je tedy zvolena svítivost asi 200 cd/m<sup>2</sup>. Toho je docíleno pomocí nastavení jasu obrazovky na 56%. Maximální svítivost tabletu je totiž udávána 354.2 cd/m<sup>2</sup>. [21]

### Určení obtížnosti

Znovu se využije metoda *getDefaultSharedPreferences()*, pomocí které aplikace zjistí, jakou obtížnost cvičení si pacient vybral. Vytvoří se pole celých čísel, které reprezentuje posuny jednotlivých obrázků v pixelech. Pomocí přepínače se vytvoří jedna varianta pole, přičemž nejnižší obtížnost vytvoří pole o hodnotách { 15, 0, 0, 0 }. To znamená, že první obrázek má kladný posun 15 pixelů, což odpovídá prostorovému vjemu směrem k pacientovi a zároveň správné odpovědi dané úrovně cvičení. Obdobně je tomu i u dalších dvou obtížností, tam však nejsou ostatní posuny nulové.

Před vytvořením první úrovně je také nutné získat identifikátory 5 obrázků, které pacient vybral v obrázkové galerii. Toho aplikace docílí pomocí metody *getIntArray()* z objektu *Bundle*, který byl předán do cvičení z předchozí aktivity.



**Obr. 30** Ukázka cvičení, level 2 s tmavě šedým pozadím

### Vytvoření úrovně cvičení

Při vytváření úrovně cvičení se z vybraného obrázku nejdříve vytvoří šedá kopie s obdélníkovým pozadím se stejnou barvou jako odstín pozadí aktivity. Použité obrázky jsou formátu Portable Network Graphics a obdélníkové pozadí je přidáno z důvodu chybné barevné transformace krajních pixelů při tvorbě anaglyfů z těchto obrázků. Aplikace tedy vytvoří novou bitmapu, ke které připojí objekt typu *Canvas*. Pomocí tohoto objektu na bitmapu nakreslí metodou *drawRect()* obdélníkové pozadí. Na toto pozadí pak nakreslí původní obrázek přes *drawBitmap()* s použitím šedého filtru.

Dále aplikace musí vytvořit bitmapové pole o velikosti 4. Do tohoto pole přijdou obrázky o posunech daných polem posunů, které bylo zmíněno v předchozí kapitole. Když je posun roven 0, objeví se na dané pozici nezměněná šedá kopie. Pokud má však posun nenulovou hodnotu je nutné vytvořit anaglyf.



**Obr. 31** Ukázka cvičení, level 3 s černým pozadím

### Vytvoření anaglyfu

Z šedé kopie obrázku se vytvoří dvě kopie. Jedna kopie bude obsahovat pouze červenou složku a druhá kopie pouze zelenomodrou složku. Vytvoří se tedy červená a azurová bitmapa, na které se nakreslí šedá kopie s použitím barevného filtru. Tento filtr je dán barevnou maticí *ColorMatrix*, jejíž hodnoty pro zachování červené složky jsou popsány zde:

$$\text{float } [] \text{ redTransform} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (4.8.1)$$

V barevné matici *ColorMatrix* je zastoupena červená barva v prvním řádku, zelená v druhém a modrá ve třetím. V posledním řádku je udávána viditelnost alfa. Pro zachování modrozelené složky bude tedy matice se stejnými hodnotami jako u zachování červené, jen budou hodnoty ve druhém a třetím řádku a první řádek bude nulový. Výsledná matice:

$$\text{float } [] \text{ cyanTransform} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,299 & 0,587 & 0,114 & 0 & 0 \\ 0,299 & 0,587 & 0,114 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (4.8.2)$$

### Segment kódu zodpovědný za vytvoření červené kopie obrázku:

```
Bitmap red = Bitmap.createBitmap(grey.getWidth(), grey.getHeight(),
Bitmap.Config.ARGB_8888);
ColorMatrix redMatrix = new ColorMatrix();
redMatrix.set(redTransform);
ColorMatrixColorFilter redFilter = new ColorMatrixColorFilter(redMatrix);
Paint redPaint = new Paint();
redPaint.setColorFilter(redFilter);
Canvas redCanvas = new Canvas(red);
redCanvas.drawBitmap(grey, 0, 0, redPaint);
```

Z ukázky kódu lze poznat postup při vytváření červené poloviny anaglyfu. V prvním kroku se vytvoří bitmapa se stejnými rozměry jako šedá verze obrázku. V dalších krocích se vytvoří barevná matice, do které se vloží hodnoty ze vzorce 4.8.1. Tato matice se použije jako barevný filtr, s nímž se šedá kopie nakreslí na vytvořenou bitmapu. Tím vzniká červená kopie obrázku. Pro modrozelenou kopii je použit obdobný postup.

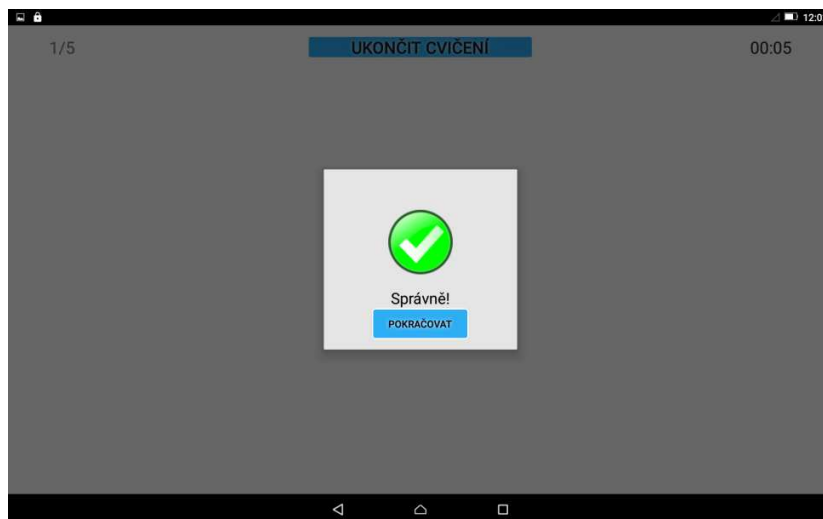
Nakonec se vytvoří bitmapa, na kterou bude nakreslen anaglyf. Na tuto bitmapu se přes sebe kreslí červená a modrozelená kopie obrázku s určitým posunem. Překreslení je realizováno pomocí cyklu *for*, který projde každý pixel obrázku a sčítá hodnotu barev červené a azurové verze.

### Vložení anaglyfů

Vzniklé bitmapové pole zaplněné anaglyfy a šedými obrázky se před samotným vložením do objektů typu *ImageView* musí promíchat. Díky tomu není možné si zapamatovat na které pozici se objeví správná odpověď, protože ta je vždy na náhodném místě. K promíchání se využívá příkazu *Collections.shuffle()*.

## 4.9 Vyhodnocení správnosti odpovědi

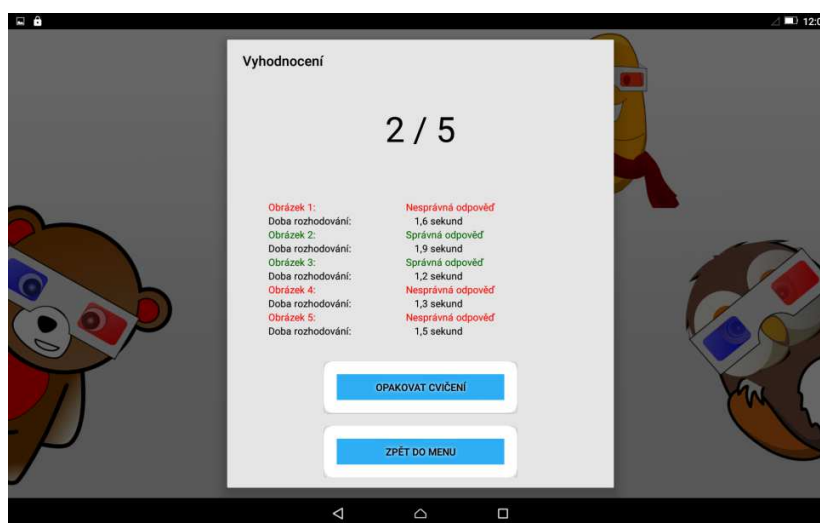
Po vybrání odpovědi pacientem se zobrazí správnost odpovědi v dialogovém okně. Obsahuje obrázek naznačující správnost, tedy křížek pro špatnou odpověď a háček pro správnou. Pacient pokračuje ve cvičení až se dotkne tlačítka pokračovat. Správná odpověď je ukázána na obr. 32.



**Obr. 32** Vyhodnocení správné odpovědi

## 4.10 Závěrečná obrazovka cvičení

V závěrečné obrazovce cvičení se objeví vyhodnocení celého cvičení. Aktivita má opět podobu dialogového okna. V horní části se nachází textové pole se zobrazeným počtem správných odpovědí. V dolní části obrazovky je vidět podrobné výsledky, každý obrázek je zde reprezentován dvěma řádky, kde je vypsána správnost odpovědi a čas rozhodování v úrovni. Pod vyhodnocením se nacházejí dvě tlačítka. Možnost opakovat cvičení se stejnou obtížností nebo návrat do hlavního menu. Ukázka závěrečné obrazovky se 2 správnými odpověďmi je na obr. 33.



Obr. 33 Závěrečná obrazovka

## 5 Návrh a realizace elektronické databáze pacientů

Záznam pacientů a jejich cvičení v aplikaci je realizován pomocí lokální SQLite databáze. Schéma databáze vytvořené pro 3 existující pacienty je na obr. 34.

Databáze obsahuje tabulku pacientů a tabulky cvičení pacientů. Počet tabulek cvičení je stejný jako počet registrovaných pacientů. To znamená, že při první instalaci aplikace obsahuje pouze prázdnou tabulku pacientů a až při registraci prvního pacienta se vytvoří další tabulka.

### 5.1 Realizace databáze

Vytvoření databáze je zajištěno pomocí speciální třídy *DatabaseHelper*, která je založena na původní třídě *SQLiteOpenHelper*. V této třídě se nachází všechny metody pracující s databází.



Obr. 34 Schéma databáze



## 5.2 Tabulka pacientů

Do tabulky pacientů se jménem `patient_table` se ukládají všichni registrovaní pacienti. Primárním klíčem tabulky je uživatelské jméno pacienta. Dále se uloží pacientovo heslo, jméno, příjmení a datum narození. To vše ve formátu textu. Jako poslední informace u pacienta je položka `level_reached`, tedy nejvyšší zvládnutá obtížnost. Při registraci se do této kolonky zapíše 0 a pokud pacient zvládne bezchybně cvičení nejnižší obtížnosti, zvýší se na 1. Nejvyšší hodnota zvládnuté obtížnosti je 3.

## 5.3 Tabulky cvičení

Tabulka cvičení se vytvoří pro každého registrovaného pacienta. Tabulka nese jméno `exercise_table_px`, kde `px` je uživatelské jméno daného pacienta. Každá tabulka cvičení obsahuje číslo cvičení, což je primární klíč tabulky vyjádřený celým číslem. Navíc se jako text ukládá datum cvičení ve formátu DD.MM.RRRR, obtížnost, počet správných odpovědí a celkový čas cvičení.

## 5.4 Registrace

V aktivitě pro registraci se vyplňuje 9 polí pro editaci textu, jak je popsáno v předchozí kapitole. Při stisku tlačítka pro registraci se vytvoří nový záznam, který se vloží do tabulky pacientů. Aby byla registrace úspěšná je nutné splnit několik podmínek pro zadávané údaje. Pokud podmínky nejsou splněny, není umožněna registrace a u chybně zadaného údaje se objeví varování. Do těchto podmínek patří jedinečné uživatelské jméno, délka hesla alespoň 4 znaky, shoda obsahu polí hesla a potvrzení hesla, platné datum narození a správný registrační kód. Žádné pole také nesmí být prázdné.

Při splnění všech podmínek proběhne už samotná registrace pacienta. Ta využívá objektu *SQLite-Database*. Pomocí metod `getWritableDatabase()` a `insert()` se do tohoto objektu vloží registrační údaje z objektu typu *ContentValues*.

## 5.5 Přihlášení

Při přihlašování pacienta se nejdříve spustí metoda kontrolující velikost databáze. Pokud je databáze prázdná, není tedy registrován žádný pacient a nemůže proběhnout přihlášení. V poli pro uživatelské jméno se objeví varování. V případě, že databáze prázdná není, kontroluje se shoda uživatelského jména s uloženými jmény. Pokud objekt typu *Cursor* narazí na dané jméno v databázi, proběhne kontrola odpovídajícího hesla. Při shodě je přihlášení dokončeno. Pokud se v databázi jméno neobjevuje nebo je zadáno chybné heslo, přihlášení neproběhne a objeví se varování.

## 5.6 Záznam cvičení

Záznam ze cvičení se vypisuje do tabulky cvičení přihlášeného pacienta. To se děje v závěrečné aktivitě cvičení. V této aktivitě se sčítá počet správných odpovědí, sčítá se celkový čas cvičení a získává se datum cvičení. Datum aplikace získá pomocí metody `SimpleDateFormat()`. Společně s číslem cvičení a obtížností se tyto údaje zapisují do tabulky.

## 6 Návrh a realizace grafického uživatelského rozhraní

Pro návrh GUI bylo nutné počítat s tím, že aplikaci budou využívat hlavně děti. Aby pro ně byla aplikace zajímavá obsahuje GUI barevné komponenty a obrázky. Hlavní komponenty uživatelského rozhraní jsou popsány níže. Na obr. 35 je vidět ikona aplikace Stereopse.



Obr. 35 Ikona aplikace

### 6.1 Tlačítka

Při interakci pacienta s aplikací jsou hojně využívána tlačítka. Bylo vytvořeno jednotné pozadí pro všechna tlačítka v aplikaci. Toto pozadí je naprogramováno v souboru *xml*. Pomocí příkazu `<corners>` je vytvořeno zaoblení rohů. Dále je zde udána barva pozadí v příkazu `<gradient>` a obrys tlačítka pomocí příkazu `<stroke>`. Příklad jednoho z tlačítek je na obr. 36.



Obr. 36 Tlačítko Přihlásit

### 6.2 Pozadí

Pozadí celoobrazovkových aktivit je tvořeno přechodem stříbrné a bílé barvy. Do pozadí je taktéž zapracováno logo aplikace. Toto logo se vždy nachází v horní části obrazovky a má podobu nápisu Stereopse, jak je vidět na obr. 37. V některých aktivitách jsou k němu přidány i obrázky. Celé pozadí i s přidávanými komponenty bylo vytvořeno v programu GIMP a má rozměry 1920 na 1128 pixelů. Zbýlých 72 pixelů do skutečného rozlišení displeje zabírají navigační a stavová lišta.



Obr. 37 Logo aplikace

## 6.3 Obrázky

Všechny obrázky použité v aplikaci jsou stažené z webové stránky Pixabay.com. Tato stránka poskytuje obrázky bez autorských práv pod licencí Creative Commons CC0. Tyto obrázky jsou upravené tak, aby vyhovovaly potřebám aplikace. Na obr. 38 jsou zobrazeny všechny obrázky použité ve cvičení. [23]



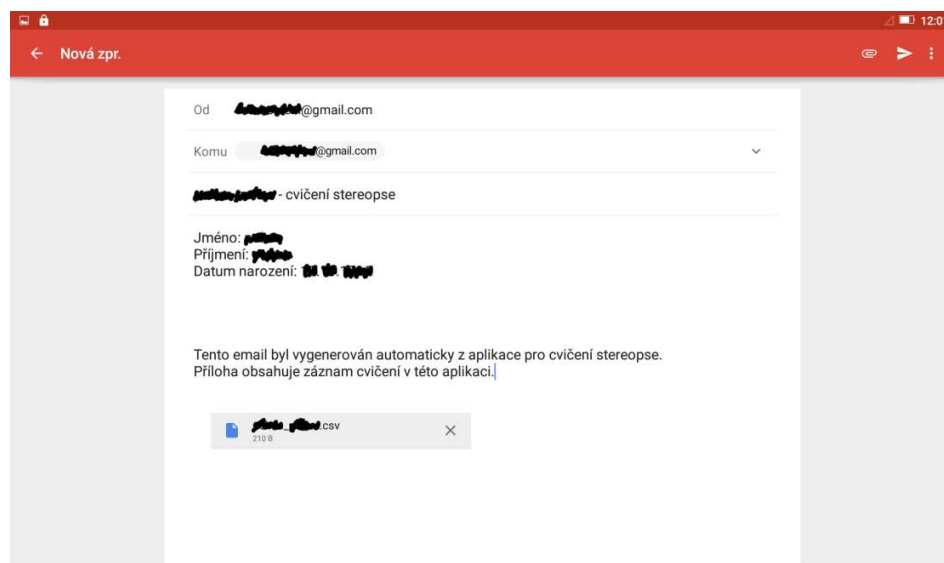
Obr. 38 Obrázky z galerie

## 6.4 Možnost tisku a statistického hodnocení

Možnost tisku a statistického hodnocení výsledků cvičení je v aplikaci řešena tlačítkem export v hlavním menu. Tímto tlačítkem je možné vytisknout všechny výsledky přihlášeného pacienta, tedy výpis tabulky jeho cvičení do souboru \*.csv (comma-separated values). Tento soubor se ihned odešle pomocí emailové aplikace Gmail do emailové schránky dětské oční kliniky. Z výpisu hodnot u jednotlivých cvičení je oftalmolog schopen rozpoznat, zda se prostorové vidění s postupem času zlepšuje.

Aplikace po stisknutí tlačítka export v hlavním menu vypíše všechny údaje z pacientových cvičení do jednoho souboru \*.csv. Tento soubor se následně přiloží k již zmíněnému emailu. Soubor není nijak zabezpečen, protože neobsahuje citlivá data pacienta. Název vytvořeného souboru je vždy *Jméno\_Příjmení.csv*.

Na obr. 39 je vidět vytvořený email. Odesílá se z tabletu v ordinaci na adresu dětské oční kliniky. V předmětu emailu je vypsáno jméno, příjmení a informace, že se jedná o cvičení pro nácvik stereopse. V textu emailu jsou znovu vypsány základní údaje pacienta spolu s jeho datem narození. Za tyto údaje se napíše věta, která říká, že email byl vygenerován automaticky. Do emailu je však možné napsat vlastní text. Export bude provádět ortoptistka, která může v případě nutnosti dopsat doplňující poznámky k pacientovi.



**Obr. 39** Odesílání emailu s exportovaným souborem

Ukázka exportovaného souboru je na obr. 40. V prvním sloupci jsou vypsaná pořadová čísla cvičení, dále se ukazuje datum, obtížnost daného cvičení, počet správných odpovědí a celkový čas daného cvičení.

|    | A             | B             | C             | D             | E           |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| 1  | Cislo_cviceni | Datum_cviceni | Level_cviceni | Pocet_spravne | Cas_cviceni |
| 2  | 1             | 6.4.2016      | 1             | 5             | 30,02       |
| 3  | 2             | 6.4.2016      | 2             | 3             | 16,93       |
| 4  | 3             | 6.4.2016      | 2             | 2             | 22,4        |
| 5  | 4             | 6.4.2016      | 2             | 1             | 24,91       |
| 6  | 5             | 6.4.2016      | 2             | 2             | 28,67       |
| 7  | 6             | 6.4.2016      | 2             | 1             | 37,01       |
| 8  | 7             | 6.4.2016      | 2             | 2             | 48,65       |
| 9  | 8             | 6.4.2016      | 2             | 1             | 28,21       |
| 10 | 9             | 6.4.2016      | 2             | 3             | 18,21       |
| 11 | 10            | 6.4.2016      | 2             | 2             | 22,42       |
| 12 | 11            | 6.4.2016      | 2             | 2             | 13,15       |
| 13 | 12            | 6.4.2016      | 2             | 1             | 12,99       |

**Obr. 40** Ukázka exportovaného souboru

## 7 Ověření aplikace v klinické praxi

Aplikace byla otestována na 30 pacientech dětské oční kliniky Fakultní nemocnice Ostrava. Skupina pacientů byla tvořena převážně dětmi předškolního věku a dětmi na prvním stupni základní školy. Podrobný výpis všech testovaných pacientů prezentuje tabulka 1.

**Tabulka 1** Výsledky testování

| Pacient | Věk | Počet cvičení | Nejvyšší dokončená obtížnost | Stav stereopse |
|---------|-----|---------------|------------------------------|----------------|
| p1      | 9   | 48            | 3                            | jemná          |
| p2      | 4   | 6             | -                            | nemá           |
| p3      | 5   | 26            | 3                            | hrubá          |
| p4      | 5   | 32            | 3                            | hrubá          |
| p5      | 8   | 11            | 3                            | jemná          |
| p6      | 5   | 14            | 1                            | hrubá          |
| p7      | 5   | 22            | -                            | nemá           |
| p8      | 10  | 31            | 2                            | hrubá          |
| p9      | 14  | 11            | 3                            | hrubá          |
| p10     | 6   | 15            | 1                            | hrubá          |
| p11     | 7   | 7             | 3                            | hrubá          |
| p12     | 8   | 20            | -                            | nemá           |
| p13     | 4   | 2             | -                            | neprokázaná    |
| p14     | 9   | 8             | 3                            | nemá           |
| p15     | 8   | 9             | 2                            | nemá           |
| p16     | 6   | 14            | 1                            | nemá           |
| p17     | 12  | 8             | 3                            | hrubá          |
| p18     | 8   | 5             | 3                            | jemná          |
| p19     | 5   | 5             | -                            | nemá           |
| p20     | 4   | 9             | 2                            | neprokázaná    |
| p21     | 4   | 3             | -                            | neprokázaná    |
| p22     | 4   | 1             | -                            | neprokázaná    |
| p23     | 8   | 10            | 1                            | nemá           |
| p24     | 10  | 7             | 3                            | hrubá          |
| p25     | 12  | 7             | -                            | nemá           |
| p26     | 3   | 5             | -                            | neprokázaná    |
| p27     | 6   | 29            | 3                            | hrubá          |
| p28     | 4   | 7             | -                            | neprokázaná    |
| p29     | 7   | 13            | 3                            | jemná          |
| p30     | 4   | 5             | -                            | neprokázaná    |

V prvním sloupci tabulky jsou vypsaná uživatelská jména pacientů, kteří byli zvoleni p1 až p30. Druhý sloupec udává věk pacienta. Ve třetím sloupci je celkový počet cvičení daného pacienta. Každý pacient absolvoval různý počet cvičení, což záleželo na schopnostech daného dítěte. Menší děti nebyly totiž schopny dlouho udržet pozornost. Nejvyšší dokončená obtížnost znamená nejvyšší obtížnost, ve které měl pacient všech 5 obrázků správně.

V posledním sloupci tabulky se nachází stav stereopse pacienta. Pokud má neprokázanou stereopsi, znamená to, že nebyl testován na přítomnost prostorového vidění. Neprokázaná stereopse je u dětí mladších 4 let, které ještě nebyly testovány. Někteří pacienti stereopsi neměli. To bylo zapříčiněno poruchou jednoduchého binokulárního vidění. Dále se u pacientů vyskytovala buď hrubá či jemná stereopse. U pacientů s jemnou a hrubou stereopsí lze předpokládat nejlepší výsledky při testování aplikace.



**Obr. 41** Foto testovaných pacientů

## **7.1 Testování v klinické praxi**

Efektivita aplikace byla testována na tabletu Lenovo Tab 2 A10-70, který je popsán v teoretickém návrhu aplikace. Testování probíhalo tak, že dítěti byly poskytnuty 3D brýle a byl mu vysvětlen princip cvičení v aplikaci. Celé testování bylo provedeno pod dohledem, který byl potřeba hlavně u menších dětí, protože některé z nich nebyly schopny přesně pochopit princip aplikace. Fotografie 3 testovaných pacientů je na obr. 41.

Cílem testování aplikace v klinické praxi bylo zjistit, zda bude efektivní pro nácvik stereopse pacientů dětské oční kliniky. Aby bylo jisté, že cvičením v aplikaci se nacvičuje prostorové vidění, musí být zajištěno, že pacienti s dobrým prostorovým viděním budou dosahovat lepších výsledků ve cvičení než pacienti bez stereopse. To totiž značí, že pro správné cvičení v aplikaci se využívá stereopse. Pokud aplikace splňuje toto kritérium, lze usoudit, že má potenciál zlepšit míru stereopse pacientů, protože nutí pacienty, aby se snažili co nejčastěji zapojit prostorové vidění. Při cvičení v aplikaci musí být také kladen důraz na soustředění dítěte, protože pokud dítě nevidí správný obrázek prostorově začne tipovat a odhadovat správnou odpověď. Z výpisu výsledků je to zřejmé u velice krátkých časů cvičení.

### **7.1.1 Rozdělení pacientů**

Soubor testovaných pacientů lze rozdělit do 4 skupin podle stavu jejich stereopse. Ideálně by se stav jejich prostorového vidění měl odrazit na dosažených výsledcích.

#### **Pacienti s neprokázanou stereopsí**

První skupinou je 7 dětí ve věku 4 let a mladší. U těchto pacientů stereopse nebyla před použitím aplikace testována a je tedy neprokázaná. Při cvičení bylo u většiny těchto dětí zřejmé, že přesně nechápou princip aplikace nebo nemají dostatečně vyvinutou stereopsi k dosažení optimálních výsledků. Z výsledků lze vyvodit, že většina dětí z této skupiny nebyla schopna dokončit více než několik cvičení. Aplikace by tedy měla být použita pouze pro pacienty starší 4 let.

#### **Pacienti s poruchou JBV**

Do této skupiny se řadí 9 pacientů. Tito pacienti trpí poruchou jednoduchého binokulárního vidění a při testování stereopse se ukázala její nepřítomnost. U 8 z nich tomu nasvědčují i výsledky cvičení, přičemž 9. pacient skupiny předvedl, že prostorové vidění má. Měl by být proto znovu otestován na přítomnost stereopse. U zmíněných 8 pacientů však bylo zřejmé, že bez stereopse nejsou schopni správně zvolit odpověď.

#### **Pacienti s hrubou stereopsí**

Pacientů s hrubou stereopsí bylo v testované skupině 10. Děti v této skupině dosahovaly až na dvě výjimky dobrých výsledků a bylo zřejmé, že obrázky vidí prostorově.

#### **Pacienti s jemnou stereopsí**

U všech 4 pacientů s prokázanou jemnou stereopsí bylo jasné vidět, že obrázky vidí prostorově a po osvojení principu aplikace pohotově vybírali správné odpovědi.

## 7.2 Zhodnocení výsledků

Nejlepších výsledků ve cvičení v aplikaci dosahovali pacienti s potvrzenou jemnou či hrubou stereopsí, potvrdila se tedy efektivita aplikace. Při testování v praxi se dále ukázalo, že aplikace může být využita i pro testování přítomnosti stereopse. Pacienti bez stereopse totiž při výběru odpovědi dlouho váhali a po sérii několika špatných odpovědí začali tipovat. Musí však být zdůrazněno, že anaglyf nemusí vidět všechny osoby se správným prostorovým viděním, ať už z důvodu poruchy barvocitu nebo jiného důvodu.

Aplikace se ukázala jako efektivní pro nácvik stereopse u dětí hlavně díky použití vhodných obrázků pro tuto věkovou skupinu. Většina testovaných dětí hodnotila aplikaci pozitivně a po naučení ovládnutí aplikace chtěli cvičení stále opakovat. Je však nutné dávat pozor, aby se dítě soustředilo na prostorový vjem a neztrácelo pozornost při výběru správné odpovědi.



## Závěr

Při vytváření bakalářské práce SW pro nácvik a prohlubování prostorového vidění byla nejdříve zhotovena rešerše. První část se zabývala současnými postupy v testování a nácviku stereopse a nejpoužívanějšími technikami pro vytvoření stereoskopických obrázků. Druhá část rešerše zkoumala existující aplikace pro rehabilitaci funkcí binokulárního vidění nebo pro vytvoření prostorového vjemu na mobilních zařízeních s operačním systémem Android. Zatím není veřejně dostupná podobná aplikace určená přímo pro nácvik prostorového vidění. V další části bakalářské práce jsou uvedeny pojmy z prostudované literatury související s tímto tématem. Teoretická část je soustředěna hlavně na fyziologii a patologii binokulárního vidění, ortoptické cvičení a stereoskopii. Podle získaných informací byly zformulovány hlavní požadavky na aplikaci a její nutné specifikace, které tvoří teoretický návrh aplikace.

V praktické části bakalářské práce je vytvořen návrh a detailně popsán postup realizace aplikace pro operační systém Android s lokální elektronickou databází pacientů. Cílem je pomoci pacientům s nácvikem prostorového vidění. Aplikace vychází z požadavků klinické praxe a bude používána v Centru pro děti s vadami zraku ve Fakultní nemocnici Ostrava.

Výsledná aplikace pojmenovaná Stereopse je optimalizovaná jen na tablet Lenovo Tab 2 A10-70. Umí vytvořit 3D obrázky, k čemuž využívá techniku anaglyfů. Pacienti pomocí těchto obrázků procvičují stereopsi. Cvičení v aplikaci spočívá ve výběru jednoho ze čtyř zobrazených obrázků, který vytváří nejsilnější prostorový vjem, tedy vystupuje z obrazovky směrem k pacientovi. Všechny výsledky cvičení jednotlivých pacientů uložených v lokální databázi lze exportovat pomocí emailu s přílohou \*.csv souborem.

Aplikace byla ověřena na 30 pacientech v klinické praxi. Tam se potvrdila její funkčnost a efektivita. Po zaškolení personálu oční kliniky je nyní možné ji využít při ortoptických cvičeních pro nácvik stereopse. Cílem práce bylo zpříjemnit a zefektivnit cvičení stereopse dětských pacientů, ke kterému se dodnes využívají starší přístroje. Toho bylo dosaženo díky použitím vhodných obrázků pro děti.

Při vývoji a následném testování byly zjištěny možnosti budoucího vývoje. Hlavním směrem budoucího vývoje by měla být optimalizace aplikace na více zařízení, což umožní její použití v domácím prostředí pro mnohem vyšší frekvenci cvičení. Dále by aplikace mohla využívat nejen lokální databázi pacientů, ale mohla by být propojena s webovým serverem, který by umožnil jednodušší odesílání dat ze cvičení a také rozšířené statistické vyhodnocení zlepšování pacienta.

## Literatura

- [1] WESTHEIMER, Gerald. Clinical evaluation of stereopsis. Vision Research [online]. 2013, (vol. 90): 38-42 [cit. 2015-07-01]. DOI: 10.1016/j.visres.2012.10.005. ISSN 00426989.
- [2] WESTHEIMER, G. Three-dimensional displays and stereo vision. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences [online]. 2011, 278(1716): 2241-2248 [cit. 2015-10-30]. DOI: 10.1098/rspb.2010.2777. ISSN 0962-8452. Dostupné z: <http://rspb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rspb.2010.2777>
- [3] HAN, Jinu, So Young HAN, Seung Koo LEE, Jong Bok LEE a Sueng-Han HAN. Real Stereopsis Test Using a Three-Dimensional Display with Tridef Software. Yonsei Medical Journal [online]. 2014, 55(6) [cit. 2015-10-30]. DOI: 10.3349/ymj.2014.55.6.1672. ISSN 0513-5796. Dostupné z: <http://synapse.koreamed.org/DOIx.php?id=10.3349/ymj.2014.55.6.1672>
- [4] MOMENI-MOGHADAM, Hamed, James KUNDART, Marzieh EHSANI a Khatereh GHOLAMI. Comparison of Stereopsis with TNO and Titmus Tests in Symptomatic and Asymptomatic University Students. Journal of Behavioral Optometry [online]. 2011, (23(2): 35-39 [cit. 2015-10-30]. Dostupné z: <http://commons.pacificu.edu/coofac/14>
- [5] HOSIK SOHN, YONG JU JUNG, SEONG-IL LEE a YONG MAN RO. Predicting Visual Discomfort Using Object Size and Disparity Information in Stereoscopic Images. IEEE Transactions on Broadcasting [online]. 2013, 59(1): 28-37 [cit. 2015-10-30]. DOI: 10.1109/TBC.2013.2238413. ISSN 0018-9316. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6412776>
- [6] Česká oční optika: Vyšetřovací metody prostorového vidění. Společenstvo českých optiků a optometristů, 2013, 54(1,2/2013). ISSN 1211-233X.
- [7] HROMÁDKOVÁ, Lada. Šilhání. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1991, 118 s. Učební texty (Institut pro další vzdělávání středních zdravotnických pracovníků). ISBN 80-701-3102-0.
- [8] DIVIŠOVÁ, Gabriela. Strabismus. 1. vyd. Praha: Avicenum, 1979, 295 s. ISBN 80-201-0037-7.
- [9] SACHSENWEGER, Rudolf. Stereoskopická zraková cvičení: obrázková knížka pro děti od 4 do 10 let. 1. české vyd. Praha: Avicenum, 1989.
- [10] ANTON, Milan. Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody. Vyd. 3., přeprac. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-701-3402-X.
- [11] Víte co je to ortoptika? Ortoptika EVAM [online]. Kladno: Bc. Eva Modlingerová, 2013 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.ortoptika.eu/content/v-te-co-je-ortoptika>
- [12] Lenovo TAB 2 A10-70 Tablet Review. Notebook Check [online]. Bernie Pechlaner, 2015 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.notebookcheck.net/Lenovo-TAB-2-A10-70-Tablet-Review.149101.0.html>

- [13] Co je „Ortoptika“. Mezinárodní sdružení optiků [online]. Kolinec: Mezinárodní sdružení optiků a optometristů, 2012 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.sdruzenioptiku.cz/sdruzenioptiku/fr.asp?tab=sdruzenioptiku&id=81>
- [14] SUSAN R. BARRY. Fixing my gaze: a scientist's journey into seeing in three dimensions. [New edition]. New York: Basic Books, 2010. ISBN 978-046-5020-737.
- [15] ASTLE, A. T., P. V. MCGRAW a B. S. WEBB. Recovery of stereo acuity in adults with amblyopia. Case Reports. 2011, 2011(feb21 2), bcr0720103143-bcr0720103143. DOI: 10.1136/bcr.07.2010.3143. ISSN 1757-790x. Dostupné také z: <http://casereports.bmj.com/cgi/doi/10.1136/bcr.07.2010.3143>
- [16] Česká společnost ortoptistek [online]. Brno, 2016 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.ortoptika.cz/>
- [17] Česká oční optika: Ortoptická cvičení. Společenstvo českých optiků a optometristů, 2011, 52(1). ISSN 1211-233X.
- [18] Léčba amblyopie a strabismu. Zdravotnictví a medicína [online]. Olomouc: Mladá fronta, 2009 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://zdravi.euro.cz/clanek/sestra/lecba-amblyopie-a-strabismu-417248>
- [19] 3D TECHNOLOGICKÁ KNIHOVNA: principy 3D stereoskopických zobrazení. Gali-3D [online]. České Budějovice, 2011 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://cs.gali-3d.com/stereoskopie-3d/>
- [20] Anaglyf. Stereofotograf [online]. Jan Kříženecký [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://stereofotograf.eu/navody/anaglyf/>
- [21] Anaglyph Methods Comparison. 3dtv [online]. Linz: Peter Wimmer, 2015 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: [http://www.3dtv.at/knowhow/anaglyphcomparison\\_en.aspx](http://www.3dtv.at/knowhow/anaglyphcomparison_en.aspx)
- [22] ALLEN, D., PATRICK, J. BENNET, T. et al. The effect of luminance on FPL and VEP acuity in human infants. Vision Res. 1989, 32, pp. 2005-2012. ISSN: 0042-6989.
- [23] Podmínky služby. Pixabay [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <https://pixabay.com/cs/service/terms/#usage>
- [24] HOWARD, Ian P a Brian J ROGERS. Binocular vision and stereopsis. 1. New York: Oxford University Press, 1995. ISBN 01-950-8476-4.
- [25] MEDIAVR PANORAMIC SOLUTION [online]. Soul: The VR [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://thevr.co.kr/>
- [26] Lang Stereo Test Mark 2. BiB Ophthalmic Instruments [online]. 2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <https://www.bibonline.co.uk/products/lang-stereo-test-mk2>
- [27] TNO Stereo Test. Grafton Optical [online]. Watford, Hertfordshire: Grafton Optical, 2010 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.graftonoptical.com/products/775-tno-stereo-test.html>